SCIENCE&VIE

SCIENCE&VIE

LISEZ
LE NOUVEAU
SCIENCE & VIE

N° 1206
MARS 2018

MÉDITATION & HYPNOSE

LES VRAIS EFFETS



HOMMES OU ROBOTS

Qui sera l'esclave de qui ?

URANUS ET NEPTUNE

On va enfin savoir…

D : 6,90 € - BEL : 4,80 € - ESP : 4,90 € - GR : 4,90 € - DOM S : 4,90 € - DOM A : 6,90 € ITA : 4,90 € - LUX : 4,80 € - PORT CONT : 4,90 €
CAN : 6,75 $ CAN - MAR : 50 DH - TOM S : 750 CFP - TOM A : 1400 CFP - CH : 8,50 FS - TUN : 9 DTU

MONDADORI FRANCE

M 02578 - 1206 - F : 4,50 € - RD

Les ados disaient piercings.

La crise de la quarantaine disait tatouages.

Je dis Arona.

Nouvelle Arona Style.
Do your thing.

À 179 €/mois(1)
3 ans d'entretien et de garantie inclus(2)(3)

SEAT

Do your thing = Suivez vos envies.
(1) Location longue durée sur 37 mois. 1er loyer de 2 000 € suivi de 36 loyers de 179 € sous condition de reprise. Exemple pour une Nouvelle SEAT Arona Style 1.0 EcoTSI 95 ch BVM5 en location longue durée sur 37 mois et pour 30 000 km maximum. (2) Contrat d'entretien VIP obligatoire souscrit auprès de Volkswagen Bank GmbH. (3) Garantie 2 ans + 1 an de garantie additionnelle. Offre réservée aux particuliers chez tous les Distributeurs SEAT (France métropolitaine) présentant ce financement et valable jusqu'au 28/02/2018 pour toute commande d'une Nouvelle SEAT Arona Style 1.0 EcoTSI 95 ch passée avant le 28/02/2018 et livrée avant le 30/04/2018. Offre sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank – SARL de droit allemand – Capital 318 279 200 € - Succursale France : Bâtiment Ellipse, 15 Avenue de la Demi-Lune, 95700 Roissy-en-France - RCS Pontoise 451 618 904 - Mandataire d'assurance et mandataire d'intermédiaire d'assurance enregistré à l'ORIAS 08 040 267 (www.orias.fr) - RCS Soissons 832 277 370.
Modèle présenté : Nouvelle SEAT Arona Xcellence 1.0 EcoTSI 95 ch avec options à 23 395 € en location longue durée, 1er loyer de 2 000 € suivi de 36 loyers de 281 € sous condition de reprise pour 30 000 km maximum au tarif n° 2017.2.2 du 20/10/2017 mise à jour au 01/12/2017.
Nouvelle SEAT Arona Xcellence 1.0 EcoTSI 95 ch : consommation mixte (l/100 km) : 4,9. Emissions de CO_2 (g/km) : 112.


AR-001-XC

Nouveau **Dacia Duster**





Le SUV décomplexé
à partir de 11 990 €(1)

www.dacia.fr/nouveau-duster

Modèle présenté : Nouveau Dacia Duster finition Prestige TCe 125 4x4 avec options à 20 850 € hors malus au tarif 2207-01 du 9 janvier 2018. (1) Prix maximum conseillé pour Nouveau Dacia Duster SCe 115 4x2 (niveau de finition Duster) hors malus. **Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 4,4/8,8. Émissions CO_2 min/max (g/km) : 115/156. Données provisoires en attente d'homologation.**

NOUVEAU ŠKODA KAROQ

PAS BESOIN DE PARTIR EN VOYAGE POUR VOYAGER

ŠKODA



Vous n'aimez pas faire comme tout le monde ? Ça tombe bien, nous non plus. Notre nouveau SUV compact a été pensé pour vous permettre de transformer chaque trajet en véritable aventure avec sa transmission 4x4*. Dès le premier regard, le ton est déjà donné : son design allie dynamisme et élégance. Grâce au système Varioflex*, son habitacle n'est pas seulement spacieux mais aussi ingénieux. Avec ŠKODA Connect*, ses technologies mêlent connectivité et sécurité pour toujours plus de confort.

ŠKODA KAROQ, Tracez votre propre chemin.

*De série, en option ou indisponible selon version.

Volkswagen Group France - RCS Soissons 832 277 370. ŠKODA recommande **Castrol EDGE Professional.**
Consommations mixtes de la gamme KAROQ (l/100 km) : 4,4 à 5,6. Émissions de CO2 (g/km) : 117 à 138.

VIBREZ POUR L'OR

AVEC L'OR & L'ÉQUIPE DE FRANCE OLYMPIQUE



CAPSULES ALUMINIUM

FRANCE
FOURNISSEUR OFFICIEL
L'OR

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS | 810 029 413 RCS Paris | 30 bis, rue de Paradis - 75010 Paris - FRANCE | SAS au capital de 16 594 157,70 euros



Emmanuel Monnier
e.monnier@mondadori.fr

Viré pour un robot ?

Les progrès époustouflants des intelligences artificielles ne pouvaient que relancer le débat : les robots vont-ils nous remplacer ? Longtemps confinée au monde des ouvriers, l'angoisse étreint aujourd'hui les cadres. Au point qu'une taxe sur les robots fut timidement proposée en 2017. Sauf que l'incertitude sur l'ampleur de cette vague étonne : la moitié des métiers menacés selon certains experts, 10 % à peine selon d'autres. Qui croire ?





Jean-Baptiste Veyrieras
jb.veyrieras@mondadori.fr

Conscience modifiée sous IRM

Difficile de ne pas s'agacer devant la profusion de livres, d'applications et d'interventions en tout genre vantant les mérites de ces pratiques sur notre santé. Mais, à mille lieues des marchands de bien-être, on ne peut que saluer les efforts notables et salutaires de la science de la méditation et de l'hypnose pour établir un cadre expérimental digne de ce nom. Jusqu'à s'émerveiller, résultats d'imagerie cérébrale et de biologie moléculaire à l'appui, devant les effets de cette union mystérieuse du corps et de l'esprit.



DR

Serge Brunier
s.brunier@mondadori.fr

Le dernier défi du système solaire

Longtemps, les astronomes ont snobé ces deux géantes, leur préférant les spectaculaires Mars, Jupiter et Saturne… *"C'est minuscule, on n'y voit rien"*, ai-je pu moi aussi rager en les regardant au télescope. Sauf qu'aujourd'hui, Uranus et Neptune incarnent un nouveau type de planètes, très mystérieuses et très répandues. Surtout, on va enfin pouvoir les explorer. La Nasa est prête. Décision attendue dans les mois qui viennent…

Sommaire

Mars 2018 **n°1206**

14 **Forum**

L'actu des sciences

20 **En images**
L'âge des anneaux de Saturne est plus incertain que jamais ; les yeux de la coquille saint-jacques fonctionnent comme des télescopes…

24 **Grand angle**
L'anesthésie freine la communication entre les neurones ; la tique se nourrissait du sang des dinosaures…

26 **Zoom**
3 découvertes sur l'intrication quantique

30 **En chiffres**
C'est au tour des primates d'être clonés

32 **Focus**
Les caméléons sont aussi doués de fluorescence

Science & société

38 Enquête
Salariés ou robots : qui sera l'esclave de qui ?

44 Data
L'éolien va décliner avec le réchauffement climatique

46 En débat
Sans la Chine, l'Europe se cherche une poubelle

48 Tendance
Les taxis volants sont en passe de devenir une réalité

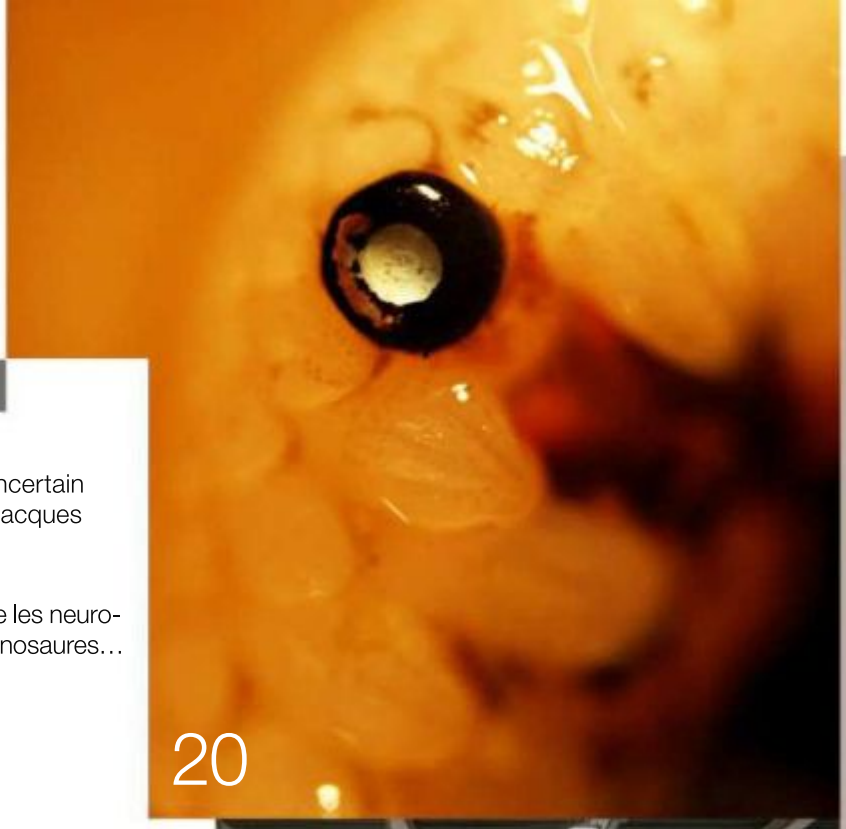
52 Retour sur image
Une marée noire d'un nouveau genre

54 Les clés pour comprendre
Qu'est-ce qui fait marcher le bitcoin ?

56 Décryptage
L'étrange affaire… des vidéos d'ovnis de l'armée américaine

58 L'objet du mois
Les lampes Li-Fi révolutionnent l'accès à internet

60 **Futur**
France : Projet de nurseries artificielles pour repeupler la mer ; Royaume-Uni : un drone solaire pourrait remplacer les satellites…









B.PALMER ET AL - BLOOMBERG/GETTY IMAGES - LUCIBEL - B.DIODATO/GETTY - S. GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS - P.BULL/DORLING-KINDERSLEY. COUVERTURE : B.DIODATO/GETTY - IMAGO/STUDIO X

SCIENCE_VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67 E-mail : svmens@mondadori.fr Recevez *Science & Vie* chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 129.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un dépliant "La Croix" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine.
Un encart "Croisière Asie" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.
Un encart "3 minutes pour comprendre" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.



66

À la une

66 **MÉDITATION ET HYPNOSE : LES VRAIS EFFETS**

Les dernières techniques d'imagerie le montrent : modifier notre état de conscience produit des effets biologiques mesurables. De là à vraiment soigner ?



84

Les dossiers

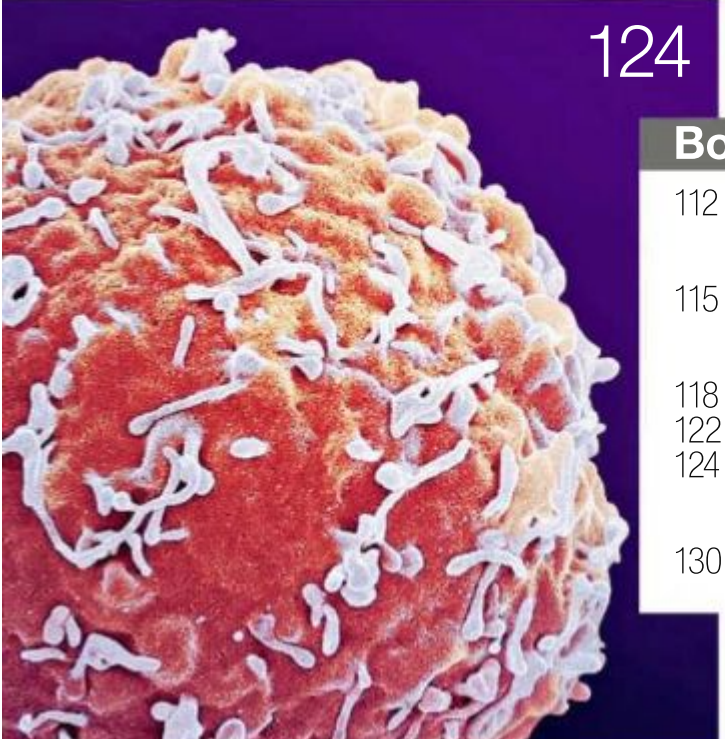
84 Astronomie
Uranus et Neptune, le dernier défi

92 Ingénierie
Impression 4D : "J'ai créé les premiers matériaux animés"

98 Évolution
Le paradoxe du placenta

102 Éthologie
Démocratie : elle a été inventée par les animaux

106 Climatologie
Rivières atmosphériques : les monstres cachés du climat



124

Bon à savoir

112 **C'est maintenant**
Limitation de vitesse à 80 km/h : qu'est-ce que ça va changer ?

115 **En pratique**
Les infections peuvent se lire sur le visage ; les femmes cardiaques sont moins bien suivies…

118 **Technofolies**

122 **À voir / à lire**

124 **Questions / Réponses**
Est-il justifié d'opérer les amygdales ? Quelle est l'énergie maximale d'un photon ?…

130 **Bulle de science**



MINI COUNTRYMAN. ÉDITION OAKWOOD.

Inclus dans l'édition : Feux LED directionnels. Toit ouvrant panoramique. GPS avec écran tactile 6,5".
Jantes 18". Coffre électrique. Radars de stationnement avant et arrière avec Système de manœuvres automatiques.

À PARTIR DE **380€/MOIS.*** LLD 36 MOIS. SANS APPORT. ENTRETIEN INCLUS.

Exemple pour un MINI COUNTRYMAN ÉDITION OAKWOOD 102 CH. *Loyer arrondi à l'euro supérieur. Location Longue Durée sur 36 mois et pour 30 000 km intégrant l'entretien et l'extension de garantie. 36 loyers linéaires : 379,99 €/mois.** Offre réservée aux particuliers, valable pour toute commande d'un MINI COUNTRYMAN ÉDITION OAKWOOD 102 CH jusqu'au **31/03/2018** dans les MINI STORES participants. Sous réserve d'acceptation par MINI Financial Services - Département de BMW Finance - SNC au capital de 87 000 000 € RCS Versailles



MINI

B 343 606 448 TVA FR 65 343 606 448. Courtier en Assurances immatriculé à l'ORIAS n°07 008 883 (www.orias.fr). Consommation en cycle mixte : **5,7 l/100 km.** CO_2 : **130 g/km** selon la norme européenne NEDC. L'extérieur de ce véhicule comporte des équipements de série ou en option en fonction de la finition. **Hors pièces d'usure. **Modèle présenté : MINI COUNTRYMAN ÉDITION OAKWOOD 192 CH pour un loyer de 599,99 €/mois. Consommation en cycle mixte selon la norme européenne NEDC : 6,2 l/100 km. CO_2 : 141 g/km.**

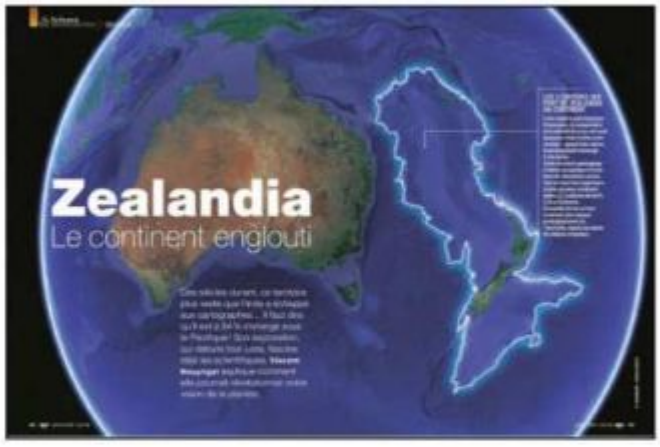
Forum

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

VRAIMENT NOUVEAU, LE 7e CONTINENT ?

Bel article sur Zealandia, le 7e continent. Je suis cependant perplexe concernant son aspect "découverte". La Nouvelle-Zélande a débuté son exploration pétrolière offshore à la fin des années 60. Et même si l'entièreté de Zealandia n'était sans doute pas connue, la présence de ce haut-fond ne faisait aucun doute, grâce aux milliers de kilomètres de profils sismiques enregistrés et aux cartes bathymétriques de la région. Pour ce qui concerne la Nouvelle-Calédonie, la genèse et la géologie de l'environnement ne faisaient non plus aucun doute. Seul le mot de 7e continent n'était pas utilisé.

Bernard Gloux, Norvège



S&V Vous avez raison, il ne s'agit pas d'une découverte à proprement parler. C'est ce que nous disons dans le papier, du reste. Mais la notion de continent en tant que telle n'était pas vraiment évoquée jusque-là. Il fallait que les géologues prennent pleinement conscience que cette masse constituait en soi une structure continue, cohérente et dont la croûte était de nature continentale sur toute cette étendue. L'ensemble des données collectées ces dix dernières années le montrent : il s'agit bien d'un continent, et non d'un énorme plateau de lave. Un changement de statut pas tout à fait anodin. Depuis un an, géologues, mais aussi climatologues et biologistes multiplient les études sur cette vaste terre engloutie, grande oubliée des cartes mondiales.

> Dans le graphique du n° 1205 (p. 63), vous datez la crucifixion de Jésus à l'année 31 av. J.-C. C'était sans doute son premier miracle !
>
> ***Gérard Robert,*** *Essert (90850)*



CATASTROPHISTES !

Vos articles sur les problèmes écologiques graves que l'humanité doit surmonter ne font guère état des évolutions positives qui, dans une certaine mesure, les contrebalancent. Ainsi votre article sur la perte de biodiversité (n° 1204, p. 22) ne parle pas des gains permanents de cette même biodiversité. Autre exemple : la désertification due au réchauffement, qui nous fera gagner d'immenses territoires. Sur ces sujets qui font souvent appel à nos peurs, des visions moins orientées gagneraient en crédibilité.

Jean Marichez, Savoie

La solitude du yéti

Dans le numéro de février, vous nous dites que *“l’énigme du yéti est enfin résolue”* (p. 12). Mais il ne peut y avoir d’énigme du genre yéti ou monstre du Loch Ness. Pour que de tels “êtres” existent, il faudrait qu’il en existe toute une horde, afin que leur survie soit assurée … Ce ne sont donc que de belles histoires pour touristes égarés!

Serge Corrotte, Les Marches (73800)

NOMMER L’AUTISME

Comment un journal comme le vôtre peut encore parler de l’autisme comme d’un trouble psychiatrique! C’est un handicap neurobiologique. On naît autiste, on ne le devient pas! Je suis maman d’un petit bonhomme extraordinaire et je me bats contre ce genre d’aberration.

Aurore Dessal, internet

S&V Si l’autisme se présente comme un trouble psychiatrique, cela ne signifie pas que sa cause soit psychiatrique! Merci de nous donner l’occasion de le rappeler. Les travaux récents sur cette affection mystérieuse aux causes multiples, dont la définition même fait encore débat, mettent désormais en valeur prédispositions génétiques et exposition aux polluants.

S&V Sans avoir de goût pour le catastrophisme, constatons qu’il y a consensus dans la communauté scientifique sur la perte de biodiversité actuelle – la diversification que vous évoquez agit beaucoup plus lentement que la destruction des habitats. Quant aux territoires que le réchauffement climatique va nous faire gagner, il faudra quelques millénaires pour que l’agriculture y soit productive. S’il va assurément falloir de l’inventivité et de l’adaptation à l’humanité pour faire face à ces problèmes, nos articles montrent aussi que ce sont des qualités dont notre espèce ne manque pas…

On en reparle



LA SOUFFRANCE DU HOMARD EST DÉSORMAIS ACTÉE

La décision prise par le gouvernement fédéral suisse en surprendra plus d’un: depuis le 1er mars, en effet, les restaurateurs helvètes ont interdiction de plonger des homards vivants dans de l’eau bouillante – charge au cuistot de trouver une mise à mort la plus rapide et indolore possible. A vrai dire, cette décision n’est pas si surprenante: en janvier 2013, nous présentions déjà des preuves scientifiques de plus en plus convaincantes de la douleur ressentie par les invertébrés. Car, oui, toutes les études portent désormais à croire qu’eux aussi souffrent d’être piétinés, écrasés, coupés en quatre et, donc, ébouillantés. En tout cas, les chocs électriques assénés en laboratoire à des bernard-l’ermite, des crabes et des crevettes montrent un changement de comportement qui va au-delà d’un simple réflexe et semblent indiquer une véritable douleur. *“Cette sensibilité était déjà reconnue aux vertébrés et plus récemment aux céphalopodes, désormais, la prise de conscience touche les crustacés ainsi que les abeilles,* se réjouit le neurophysiologiste Georges Chapouthier (La Pitié Salpêtrière) et membre de la Ligue française des droits de l’animal, qui juge que *“La décision suisse va dans le bon sens!”* C’est le dilemme de *sapiens*: comment éviter l’insupportable à des créatures que l’on sait maintenant sensibles… sans forcément renoncer à la bonne chair? **V.N.**

On en reparle



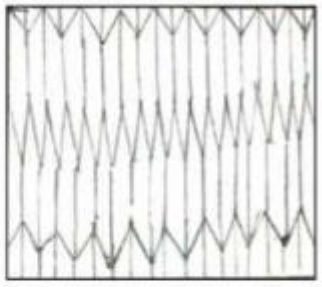
L'EAU SUR MARS S'ÉVAPORE ENCORE

Dommage ! En 2015, nous vous annoncions la présence d'eau liquide sur Mars. La sonde *Mars Reconnaissance Orbiter* (*MRO*) avait alors trouvé des perchlorates, des sels hydratés, au niveau de traînées noires qui s'écoulent sur les pentes de la Planète rouge. Et les spécialistes étaient unanimes : ces traces prouvaient qu'à ces endroits, l'eau avait été concentrée jusqu'à devenir liquide et couler. *"Il n'y a pas d'autres mécanismes évidents qui permettent d'expliquer les écoulements et la présence de perchlorates"*, martelait alors Scott Murchie, responsable du spectromètre sur *MRO*. Mais la science réserve des surprises : il y a quelques mois, un mécanisme a finalement été trouvé qui explique les traînées… à sec ! Frédéric Schmidt, du laboratoire Géosciences Paris Sud, a calculé que sous la faible pression martienne, la lumière du Soleil, via les différences de température qu'elle occasionne au niveau de chaque grain de sable, peut suffire à déclencher une avalanche. Et aujourd'hui, les chercheurs à l'origine de la publication de 2015 enfoncent le clou : ils remarquent que les marbrures sont toujours inclinées de plus de 27 degrés. Or, s'il s'agissait bien d'écoulements liquides, ils devraient se produire aussi sur des pentes moins raides. Les perchlorates étaient donc une fausse piste. Cela fait quatre siècles que les humains pensent découvrir de l'eau liquide sur la planète rouge, et, une fois de plus, ce n'était qu'une illusion… **M.G. ET M.F.**

SOUS LES PAVÉS L'ADAGE

En lisant l'article *"il n'y a bien que 15 pentagones possibles pour paver un sol"* (n° 1203), je me suis mis à en chercher un 16e. Au bout d'une semaine, je l'ai trouvé. Je vous l'envoie. J'attends avec impatience votre réponse.

Antoine Grenier-Boley, 11 ans,



S&V Bravo pour votre pugnacité ! Mais votre résultat s'inscrit parfaitement dans celui du mathématicien Michaël Rao de l'université Claude-Bernard (Lyon), démontrant qu'il n'existe que 15 familles de pentagones pavant le plan. Le terme de "famille" a toute son importance : chacune est caractérisée non pas par une seule forme de pentagone, mais par plusieurs qui respectent les mêmes règles géométriques. Ainsi, la première famille est constituée de tous les pentagones dont la somme de trois angles consécutifs vaut 360° et dont la somme des deux angles restants vaut 180°. Les pentagones de la famille 2 sont ceux dont la somme de deux angles non consécutifs vaut 180° et dont deux arêtes ont la même longueur.
Votre dessin, qui affiche un beau parallélisme entre les deux côtés, semble ainsi appartenir à la première famille. Et même si, depuis Gödel, il est impossible de démontrer que les mathématiques sont irréfutables, on peut raisonnablement penser que personne, jamais, ne trouvera de contre-exemple à ce nouveau théorème géométrique… Mais bel effort tout de même !

Erratum

"Le cœur guérit plus facilement le matin", avons-nous titré pour un petit article du numéro daté janvier (n° 1204, p. 26). Grosse erreur ! L'article en question dit justement que c'est l'après-midi que les risques d'une opération sont moindres ! Comme le souligne une lectrice, *"Heureusement que je ne suis pas cardiaque en phase opératoire !"*

SCIENCE&VIE
LA BOUTIQUE Nouvelle boutique en ligne !
Cadeaux scientifiques et insolites
+ de > 600
> Livres
> Objets scientifiques
> Idées cadeaux
Rendez-vous vite sur : boutique.science-et-vie.com

Bon plan

L'incroyable iPhone X pour profiter de tout Orange Bank.

orange™



Jusqu'à 160 €* offerts

pour l'achat d'un iPhone X et l'ouverture d'un compte Orange Bank

DAS : 1,36 W/kg[1]

iPhone X

***Soit 80 € remboursés pour l'achat d'un iPhone X (avec les forfaits Play et Jet Open et en version «avec mobile» et un engagement de 24 mois) et l'ouverture d'un 1er compte bancaire Nouvelle offre Orange Bank[2] et 80 € de bienvenue offerts pour l'utilisation des moyens de paiement[3].**

Kit mains-libres recommandé. **(1)** Le DAS (débit d'absorption spécifique) des téléphones mobiles quantifie le niveau maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2 W/kg. **(2)** Offre soumise à conditions, valable en France métropolitaine, réservée aux clients Orange Play et Jet (version «avec mobile» ou Open et avec engagement de 24 mois) ayant, entre le 08/02/2018 et le 04/04/2018, acheté un iPhone X en boutique Orange et ouvert un 1er compte bancaire Nouvelle offre Orange Bank. Remboursement effectué par virement sur votre compte bancaire Nouvelle offre Orange Bank dans les 8 semaines environ suivant la réception du coupon de remboursement dûment complété et des pièces justificatives (RIB Orange Bank, facture d'abonnement mobile Orange, facture et code-barres de l'emballage de l'iPhone). Envoi du coupon et des justificatifs avant le 04/06/2018. Un seul remboursement par compte bancaire Nouvelle offre Orange Bank. Offre non cumulable avec toute autre promotion sur l'achat des produits concernés et/ou sur l'ouverture du compte Nouvelle offre Orange Bank. Plus d'infos sur https://boutique.orange.fr/bon-plan-promo/iphone-banque-orange **(3)** Offre de bienvenue de 80 € : à partir de 3 paiements ou retraits réalisés avec une carte « Visa Orange Bank » et/ou le paiement mobile Orange Bank avant la fin du mois qui suit l'ouverture d'un 1er compte bancaire « Nouvelle offre Orange Bank ». Prime créditée dans les 30 jours suivant la 3e opération. Offre valable jusqu'au 30/06/2018. Carte délivrée après accord de la banque et personnalisation du code secret. Service de paiement mobile soumis à conditions, émis et opéré en France métropolitaine par Wirecard Bank AG (Einsteinring 35, 85609 Aschheim, Allemagne - n° d'enregistrement HRB 161178) sur le réseau Visa, en partenariat avec Orange Bank et sous licence Visa (marque déposée de Visa Inc.). Voir conditions sur orangebank.fr - Offre cumulable avec l'offre de 80 € sur l'iPhone X. Mandataire exclusif en opérations de banque et en services de paiement d'Orange Bank - Orias n°13 001 387. Orange Bank - SA au capital de 320 575 712 € - 67 rue Robespierre 93107 Montreuil Cedex - 572 043 800 RCS Bobigny - Orias n° 07 006 369 (www.orias.fr).

Dans les kiosques



AINSI MEURENT LES ROIS

Les Cahiers de Science & Vie consacrent leur dossier à un géant méconnu de l'histoire de France. Chefs-d'œuvre gothiques, la basilique et la grande nécropole royale abritent pourtant les reliques des rois de France, reléguées sans ordre dans le réduit d'une crypte. Mais, enfin, la science commence à s'y intéresser…
Les Cahiers de Science & Vie, 5,95 €



DES SOLUTIONS POUR DEMAIN

L'aventure scientifique consiste à relever des défis. Nous en avons retenu dix, qui pourraient tous trouver une solution d'ici à la fin de ce siècle. Certains sont liés à la connaissance de l'Univers, d'autres à notre planète, d'autres encore visent à couvrir nos besoins immédiats. Un numéro résolument optimiste, tout entier tourné vers le futur

Numéro Hors-Série, 5,50 €



SE CONNAÎTRE SOI-MÊME

Travaux en neurosciences, imagerie cérébrale, études sensorielles… La science dispose de moyens très sophistiqués pour enquêter sur le moindre de nos comportements. La preuve en 21 tests proposés dans ce numéro spécial.
Science & Vie Questions/Réponses, 4,50 €

SCIENCE&VIE

Une publication du groupe
MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION
8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT
Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE
Valérie Greffoz (rédactrice en chef déléguée du site internet), Vincent Nouyrigat, Caroline Tourbe (science & société, médecine)

CHEFS DE RUBRIQUE
Mathilde Fontez (sciences fondamentales), Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS
Elsa Abdoun, Thomas Cavaillé-Fol, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION
Florence Roucolle

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION
Anne Riera

MAQUETTISTES
Valérie Samuel-Charrier (1re maquettiste), Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE
Anne Levy (chef de service photo), Stéphane Aubin, Boris Bellanger (chef de service infographie)

DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO
S.Aquindo, K.Bettayeb, L.Blancard, P.-Y.Bocquet, S.Brunier, S.Ceugniet, A.Dagan, A.Debroise, O.Donnars, S.Fay, F.Gracci, M.Grousson, C.Hancok, R.Ikonicoff, M.Kontente, H.Leroux, B.Levesque, E.Monnier, B.Perrin, N.Picard, A.Pihen, B.Rey, M.Saemann, Y.Sciama, G.Siméon, M.Spée, E.Thierry-Aymé, F.de Vaugelas, J.-B.Veyrieras

DIRECTION-ÉDITION
DIRECTION PÔLE
Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION
DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION
Christophe Ruet

ABONNEMENTS
Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Juliette Mesnil (responsable marketing direct)

VENTES AU NUMÉRO
Christophe Chantrel (directeur des ventes), Siham Daassa (responsable ventes marché)
Jacky Cabrera (responsable ventes)

BOUTIQUE ET VPC
Sandrine Tiffreau (directrice vente à distance)
Arnaud Henaff (reponsable marché)

MARKETING/INTERNATIONAL
Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon

PUBLICITÉ
DIRECTEUR EXÉCUTIF
Cécile Chambaudrie

CONTACTS PUBLICITÉ
Virginie Commun (50 28), Lionel Dufour (50 19)

PLANNING Angélique Consoli (53 52), Stéphanie Guillard (53 50)
TRAFIC Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES
Véronique Besse (43 89)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infolodon@publieurope.com – 44 (0)20 7927 9800) ;
Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@publieurope.com 0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@publieurope.com 0041 21 323 3110) ;
Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@publim-gestion.es 0034 91 212 83 00)

FABRICATION
Daniel Rougier, Agnès Châtelet

PRÉ-PRESSE
Sylvain Boularand (responsable de service)
Christophe Guérin (adjoint)

FINANCE MANAGER
Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR
MONDADORI MAGAZINES FRANCE
Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Carmine Perna
ACTIONNAIRE PRINCIPAL
Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE
N° ISSN : 0036-8 369
N° DE COMMISSION PARITAIRE :
1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 numéros : 40,90 €
1 an, 12 numéros + 6 HS : 59,90 €
Dépôt légal : mars 2018

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS
Par téléphone : 01 46 48 48 96
Par courrier :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9
Pour vous abonner par internet :
www.kiosquemag.com
Etats-Unis et Canada : Express Mag,
Tél. : 1 800 363-1310 (français)
et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch.
Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS
RENSEIGNEMENTS
Par courrier :
8, rue François-Ory,
92543 Montrouge Cedex
Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC
Tel : 01 46 48 48 83
Contact@laboutiquescienceetvie.com

AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL
Origine du papier : Allemagne.
Taux de fibres recyclées : 0 %.
Certification : PEFC. Impact sur l'eau :
Ptot 0,016 kg/tonne

ON NE VA PAS TOURNER AUTOUR DU POT



FERRERO FRANCE COMMERCIALE S.A.S. CAPITAL : 13 174 336 EUROS – 800 799 897 R.C.S ROUEN SIEGE SOCIAL : 18, RUE JACQUES MONOD - CS 80268 - 76130 MONT-SAINT-AIGNAN CEDEX

7 INGRÉDIENTS

0 COLORANT CONSERVATEUR

Nutella®, c'est 7 ingrédients, et c'est tout : sucre, huile de palme, noisettes, lait écrémé en poudre, cacao maigre, émulsifiants : lécithines (soja), vanilline. Notre recette ne contient ni colorant, ni conservateur. C'est cette qualité qui fait que Nutella® est si bon au petit-déjeuner.

Chrislaine L.
Opératrice production
à l'usine Ferrero
de Villers-Ecalles

nutella
Parlons qualité

Les réponses à vos questions
sur **nutella.com**

Pour votre santé, évitez de manger trop gras, trop sucré, trop salé. www.mangerbouger.fr



NASA/JPL - CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

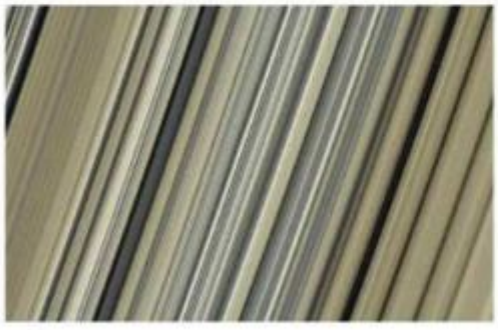
PLANÉTOLOGIE

L'ÂGE DES ANNEAUX DE SATURNE EST PLUS INCERTAIN QUE JAMAIS

Cassini a parlé. Mais contre toute attente, les dernières analyses de la sonde qui s'est écrasée sur Saturne en septembre 2017 n'ont pas tranché la question de l'âge des anneaux. Certes, on sait désormais qu'ils pèsent $1{,}5.10^{19}$ kg, sont composés surtout de glace (très peu de silicates), et que le flux de micrométéorites qui les bombarde est dix fois plus intense qu'attendu. *"La conclusion de ces mesures semble inévitable : les anneaux sont jeunes"*, analyse Sébastien Charnoz, à l'Institut de physique du globe de Paris. Sinon, ils devraient être pollués par les météorites, truffés de silicates et bien plus massifs. Certains arguent qu'ils seraient nés il y a à peine… quelques centaines de millions d'années. Si les dinosaures avaient eu une lunette, ils auraient vu une Saturne toute nue ! Sauf que les spécialistes de la dynamique des anneaux, Sébastien Charnoz en tête, tirent de ces données… la conclusion inverse. *"Nos modélisations montrent que les anneaux s'autorégulent en éjectant de la matière lorsqu'ils atteignent une masse critique. Or, cette masse est justement celle trouvée par Cassini ! Cela voudrait dire que les anneaux… sont en fait très anciens. Peut-être aussi vieux que Saturne !"* Le débat fait rage… **M.F.**



Composés de glace pure, ils seraient donc a priori très jeunes…



… mais d'après leur masse, ils pourraient être très anciens !

> Les anneaux de Saturne restent l'une des plus grosses énigmes de la planétologie.



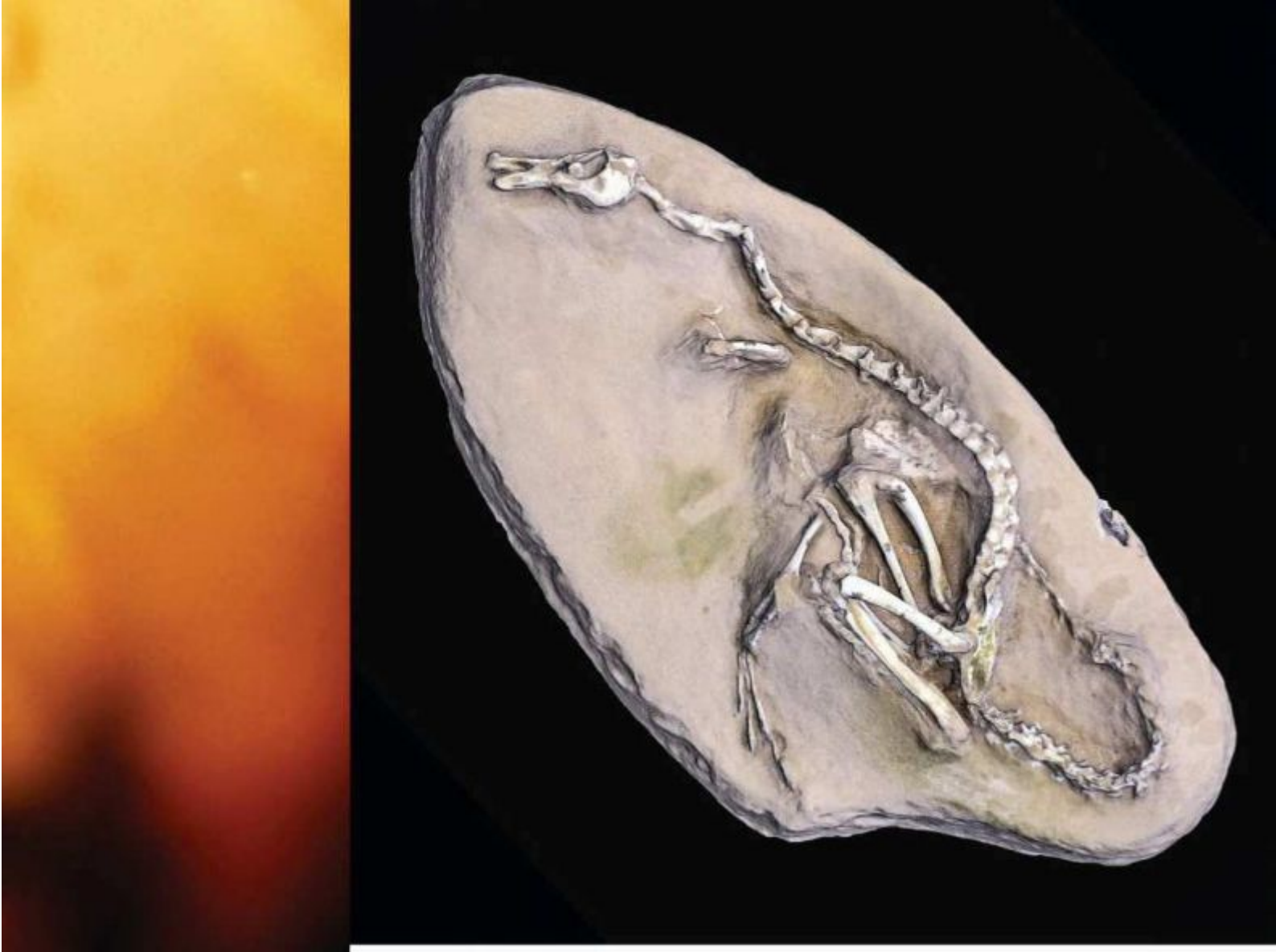


PHYSIOLOGIE ANIMALE

LES YEUX DE LA COQUILLE SAINT-JACQUES FONCTIONNENT COMME DES TÉLESCOPES

Chacun des 200 yeux de la coquille Saint-Jacques est doté d'un miroir en mosaïque comme ceux des télescopes, qui améliore la netteté des images ! C'est la découverte de chercheurs israéliens qui voulaient comprendre pourquoi ces yeux avaient deux rétines, et à quoi servait la couche de cristaux de guanine située dessous. Les faces planes et réfléchissantes de ces cristaux s'ajus-tent pour former un plus grand miroir, concave. Celui-ci projette sur la rétine inférieure une image corrigée de nombreuses aberrations optiques, et la rétine supérieure perçoit directement une image plus floue, mais est plus sensible aux mouvements. Pour le biologiste Gilles Bœuf, *"cet œil est adapté aux besoins de l'animal, qui doit bien voir son environnement pour se nourrir, et réagir vite pour échapper à son prédateur, l'étoile de mer".* A.D.

L'œil du mollusque, ultra-sophistiqué, est doté d'un miroir en mosaïque (partie blanche).



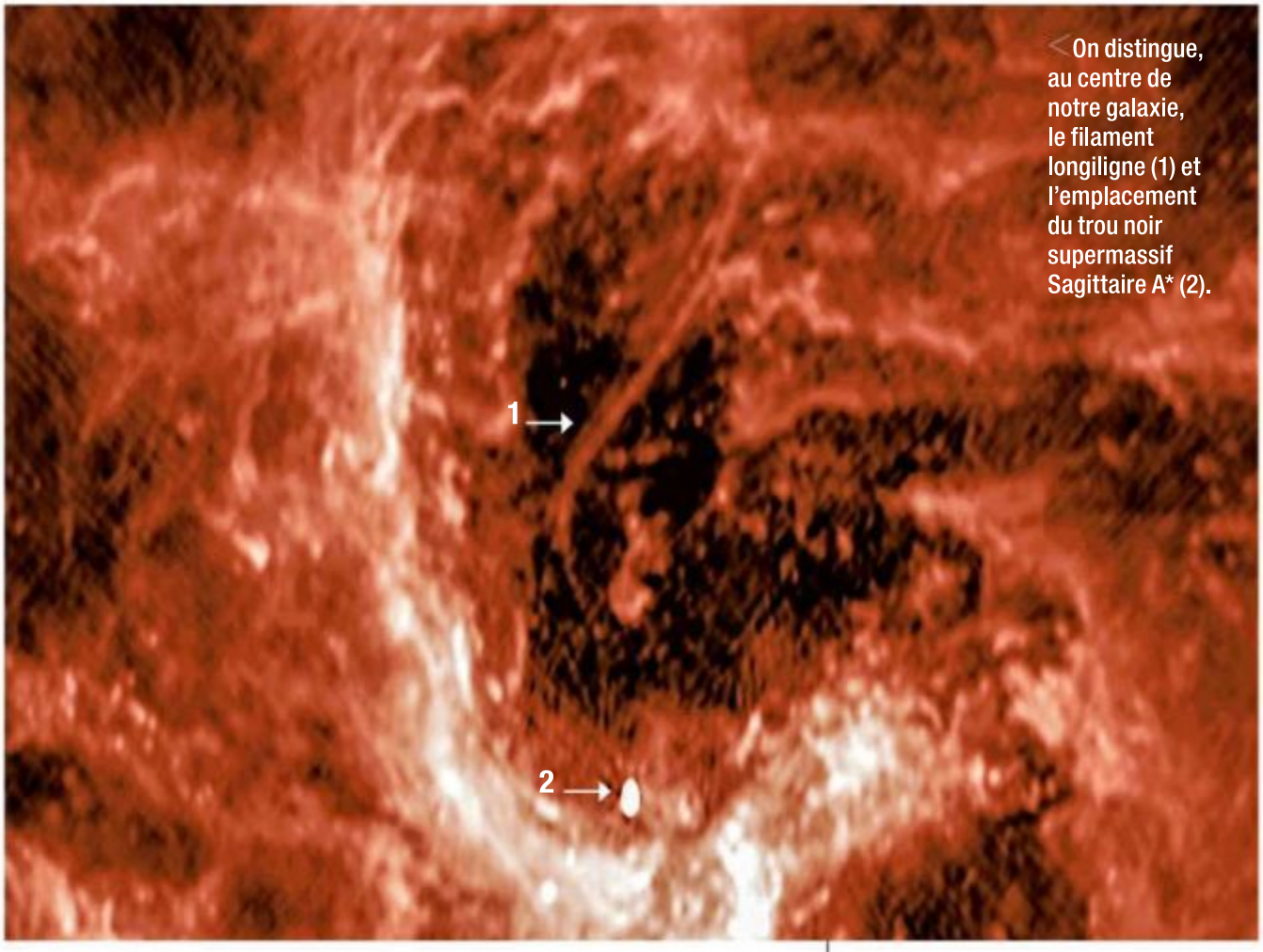
B.PALMER ET AL. - P.TAFFOREAU/ESRF

Le fossile, âgé de 71 à 75 millions d'années, révèle des traits morphologiques de canard et de prédateur aquatique.

PALÉONTOLOGIE

LE PREMIER RAPTOR SEMI-AQUATIQUE A ÉTÉ DÉCOUVERT

On connaissait les raptors terrestres, volants, mais *Halszkaraptor escuilliei* se déplaçait aussi bien sur terre que dans l'eau. Son fossile a été découvert à Ukhaa Tolgod, en Mongolie, un site bien connu des paléontologues et des… voleurs de fossiles. *"Il a été mis en vente sur eBay,* ironise Pascal Godefroit, paléontologue de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique, à Bruxelles. *En 2015, il a atterri chez un collectionneur français qui m'a contacté".* Analysé par rayons X, *Halszkaraptor* a les traits d'un prédateur aquatique et la morphologie d'un canard. *"Son museau, innervé comme celui d'un crocodile, était muni de fines dents, et son long cou l'aidait à attraper les poissons. Il se déplaçait dans l'eau avec ses membres antérieurs, et sur terre avec ses pattes arrière comme un palmipède."* Les paléontologues n'ont pas fini de l'analyser que déjà, le fossile a été rendu à la Mongolie. **O.D.**



On distingue, au centre de notre galaxie, le filament longiligne (1) et l'emplacement du trou noir supermassif Sagittaire A* (2).

M.MORRIS ET AL./NSF/VLA/UCLA - D.TIPLING PHOTO LIBRARY/ALAMY STOCK PHOTO/HEMIS

ASTROPHYSIQUE

UN MYSTÉRIEUX FILAMENT S'ÉCHAPPE DE NOTRE TROU NOIR

Cette structure a été découverte en 2016. Mais grâce au réseau d'antennes radio Very Large Array, Mark Morris, de l'Université de Californie, vient d'en obtenir une image plus précise… qui montre qu'elle est bien liée au trou noir. *"Elle pourrait être créée par des électrons émis à proximité du trou noir, longeant les lignes du champ magnétique du centre de la Voie lactée, ce qui provoque un rayonnement"*, avance le chercheur. Plus exotique, il pourrait aussi s'agir d'une "corde cosmique", sorte de condensation d'énergie née au début de l'Univers. L'une d'elles aurait été piégée en partie par le trou noir, tandis que l'autre partie, en vibrant dans le plasma interstellaire, provoquerait la lueur filamentaire. *"Nous le saurons lors de prochaines observations"*, espère Morris. Si le filament épouse les lignes du champ magnétique, la première hypothèse sera renforcée. S'il est animé d'une vitesse latérale, cela voudra dire qu'il s'agit bien d'une corde qui vibre… et qu'un objet théorique des plus étranges vient de devenir réalité. **B.R.**

-42,5 °C

C'est la température minimale à laquelle l'eau pure peut rester liquide. Une mesure réalisée en observant des microgouttelettes d'eau ultra-pure s'évaporer dans une chambre à vide. L'évaporation pompe de la chaleur, et cause leur refroidissement. Mais en l'absence d'impuretés autour desquelles des cristaux de glace pourraient se former, l'eau reste liquide jusqu'à -42,5 °C… Un phénomène courant dans les nuages. A.D.

en bref…

LES BONOBOS PRÉFÈRENT LES GENS MÉCHANTS
Une étude américaine révèle que ces singes sont plus enclins à accepter la nourriture d'un humain antisocial, considéré comme dominant, que celle d'une personne "aidante". **T.C.-F.**

LES VAUTOURS IBÉRIQUES RESTENT EN ESPAGNE
C'est ce qu'ont constaté des chercheurs en suivant 70 charognards via GPS. La raison ? Au Portugal, les carcasses d'animaux sont ramassées, mais pas en Espagne, où les vautours trouvent donc facilement à manger. **V.G.**

LES ORANGS-OUTANS SE SOIGNENT AVEC DES PLANTES
À Bornéo, une femelle orang-outan a été filmée mâchant des feuilles de *Dracaena cantleyi* pour en faire une mousse qu'elle a appliquée sur son bras. L'analyse de cette plante a révélé des propriétés anti-inflammatoires. **V.G.**

PHYSIQUE

UN PLUMAGE ULTRA-NOIR ATTIRE LES FEMELLES

Les paradisiers, des oiseaux asiatiques, arborent un plumage d'un noir très mat, taché de couleurs vives. La particularité de leurs plumes ? Des micro-reliefs qui absorbent la quasi-totalité de la lumière, vient de révéler leur observation au microscope électronique par une équipe américaine. Chez la plupart des oiseaux noirs, les barbules (des ramifications secondaires émergeant des barbes, elles-mêmes partant du rachis central) sont dans le plan de la plume et absorbent 95 % de la lumière incidente. Chez les paradisiers, les barbules émergent au-dessus du plan de la plume et sont hérissées de pics qui piègent la lumière incidente : celle-ci est réfléchie plusieurs fois et à chaque réflexion le rayon perd 95 % de lumière. Les plumes absorbent ainsi 99,95 % de la lumière incidente, comme les matériaux ultra-noirs utilisés pour recouvrir les télescopes spatiaux ! *"Ces plumages accentuent les contrastes avec les taches colorées,* analyse Violaine Llaurens, du Muséum national d'histoire naturelle. *Les couleurs, qui attirent les femelles, paraissent alors plus vives."* **A.D.**



> Pour le paradisier multifil, l'ultra-noir est un atout de séduction majeur.

VIROLOGIE

LA FAÇON DONT LE VIRUS ZIKA ATROPHIE LE CERVEAU A ÉTÉ DÉCRYPTÉE

Avec plus de 2 millions de cas au Brésil, Zika a créé une crise majeure en 2015. Le lien est établi entre cette fièvre et les microcéphalies des nourrissons nés de mères porteuses du virus. Mais le mécanisme par lequel ce *Flavivirus* engendre des cerveaux atrophiés restait inconnu. Une équipe franco-belge vient de l'élucider. C'est en s'insérant dans les cellules-souches cérébrales du fœtus que Zika désorganise la balance de production des neurones. Lors du développement cortical habituel, les cellules-souches effectuent une neurogenèse directe – en produisant une autre cellule-souche et un neurone —, puis une neurogenèse indirecte – une cellule-souche et un progéniteur intermédiaire au lieu du neurone. Cet intermédiaire démultiplie la production des neurones. Or, en se répliquant, Zika force la neurogenèse directe au détriment de l'indirecte. Il altère aussi la survie des neurones, d'où une quantité anormalement basse et de petits cerveaux. *"Comprendre ce mécanisme régulateur permet d'envisager des traitements",* espère Laurent Nguyen, du laboratoire GIGA-Neurosciences de l'Université de Liège. À l'aide de modulateurs pharmacologiques, les chercheurs ont ainsi réussi à supprimer les microcéphalies chez des souris infectées. **A.P.**

3 DÉCOUVERTES SUR…

L'INTRICATION QUANTIQUE

Une série d'études menées ces derniers mois prouve l'importance de cette propriété de l'infiniment petit. Elle sera bien au cœur des théories et des technologies dans les années à venir.

PAR **MATHILDE FONTEZ**

1

L'intrication est bien réelle

Même Albert Einstein n'a pas pu s'y résoudre : deux particules peuvent être liées quelle que soit la distance qui les sépare. Toute modification de l'une modifie l'autre : les phénomènes quantiques sont par essence non localisés. Ronald Hanson, à l'Université de Delft (Pays-Bas), en a récemment apporté la preuve définitive, mesurant particule par particule l'intrication de deux cristaux trop éloignés (1,3 km) pour qu'ils aient pu communiquer, même à la vitesse de la lumière.

2

Elle est nécessaire pour que le monde existe

Est-il possible de construire une théorie post-quantique sans l'intrication ? C'est la question que s'est posée une équipe de chercheurs de l'Imperial College, à Londres. Et ils ont fini par prouver que toute théorie qui a des limites classiques – c'est-à-dire qui décrit nos observations du monde – doit comprendre l'intrication. De quoi, peut-être, trouver la clé d'une description unifiée de l'infiniment petit et de l'infiniment grand.

3

Elle se manifeste même à notre échelle

Les records se sont multipliés ces derniers mois. En mars, un groupe de l'Université de Varsovie est parvenu à intriquer un photon avec 1 000 milliards d'atomes de rubidium. En octobre dernier, une équipe de l'Université de Genève est parvenue à intriquer 16 millions d'atomes dans un cristal de 1 cm. Sans compter qu'en juillet dernier, deux équipes chinoises ont maintenu une intrication entre la Terre et l'espace. L'intrication devient presque palpable.

V.STEGER/SPL/COSMOS



©Adobe Stock : CKA

PUBLI-RÉDACTIONNEL

L'Ordre du temps

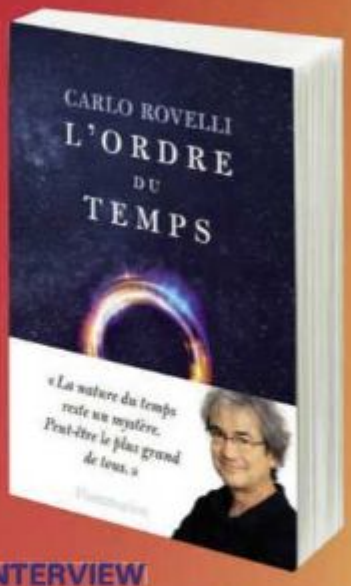
Dans son nouveau livre, le physicien Carlo Rovelli s'attaque à la question la plus difficile de la physique fondamentale : qu'est-ce que le temps ? Un récit accessible qui aborde le sujet avec clarté et profondeur.

Tout, absolument tout, semble s'inscrire dans le temps. Depuis les phénomènes cosmiques jusqu'à la pensée humaine.

Mais le temps lui-même, dans quoi s'inscrit-il ? Par quoi est-il engendré ? Pourquoi « avance-t-il » irréversiblement ? Autant de questions d'une difficulté inouïe qui n'effraient pas Carlo Rovelli, bien au contraire.

Physicien mondialement célèbre pour sa théorie de la « gravitation quantique à boucles », il a passé « plus de 35 ans à étudier la nature du temps ». Un sujet qui « aujourd'hui est reconnu par tous comme étant LE grand problème qui fait obstacle à notre compréhension du monde physique. Il faut le résoudre ». L'Ordre du temps nous projette ainsi au cœur des plus récentes hypothèses sur le temps (voir interview). Au fil des pages, l'auteur nous livre le fruit de ses découvertes avec simplicité, dans une narration cristalline et qui se lit comme un roman…

Un récit aussi fascinant et profond que le temps lui-même.



INTERVIEW

Quelles sont les principales conclusions de vos recherches sur le temps ?

Selon moi, le temps tel que nous l'éprouvons ou connaissons intuitivement n'est pas un phénomène universel : à l'échelle du Cosmos, il n'y a pas de temps.

L'Univers serait-il alors figé ?

Non, cela signifie qu'il y a des temps, mais aucun temps à l'échelle globale de l'Univers. Le temps serait donc un phénomène local se produisant sous certaines conditions particulières que j'ai tenté de décrire dans le livre.

La suite sur :
www.science-et-vie.com



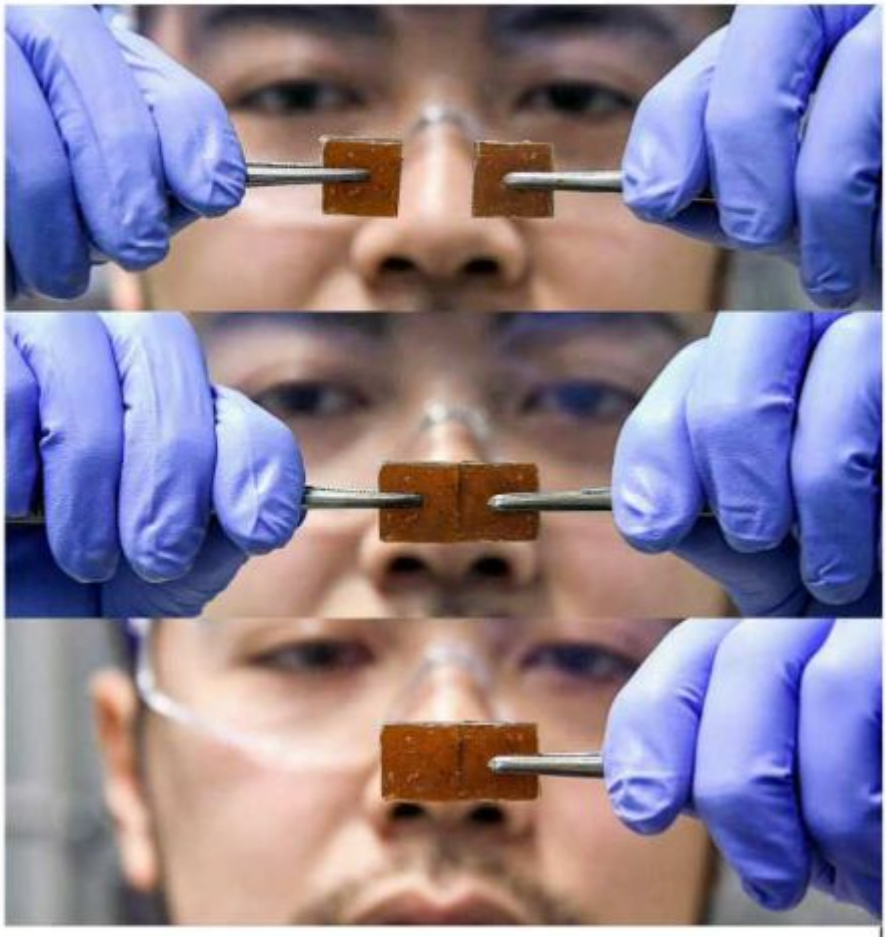
©Geoffroy Mathieu / Opale / Leemage / Flammarion

Carlo Rovelli

Carlo Rovelli est physicien, auteur avec Lee Smolin de la théorie de la gravité quantique à boucles.

Il est directeur de recherche au CNRS à Marseille.

Son livre Sept brèves leçons quantiques (Odile Jacob, 2015) a été traduit en une trentaine de langues et s'est vendu à plus d'un million d'exemplaires.



Les deux morceaux de verre cassés se ressoudent par simple pression.

MATÉRIAU

LE VERRE AUTO-RÉPARANT EST DÉSORMAIS UNE RÉALITÉ

Des chercheurs de l'Université de Tokyo ont découvert un nouveau matériau – un polymère vitreux – dont les morceaux cassés peuvent se ressouder par simple pression, en quelques dizaines de secondes. *"Les longues chaînes de molécules sont robustes, mais elles ne peuvent se reconstituer une fois cassées, au contraire des courtes chaînes,* explique Takuzo Aida qui a dirigé les recherches. *Nous avons donc connecté des chaînes courtes en les liant par des atomes d'hydrogène."* Les polymères obtenus ont la robustesse de longues chaînes et peuvent s'auto-réparer sous la pression en reformant des liens avec l'hydrogène. *"Notre polymère contient un grand nombre de molécules de thio-urée responsables de ces liens, qui évitent tout phénomène de cristallisation fragilisant le matériau",* précise le chercheur. Cette avancée permettra de produire des verres légers, solides et auto-réparants pour les téléphones et les fenêtres de demain. **S.F.**

BOTANIQUE

LA TOMATE EST DOUÉE DU SENS DU SACRIFICE

Maximiser sa descendance est la base du succès évolutionniste. Pourtant, *Solanum peruvianum,* la florissante tomate sauvage, compromet parfois activement sa reproduction, révèle une étude américaine. Attaquée par des insectes herbivores, elle produit une toxine qui repousse ses agresseurs… mais aussi les pollinisateurs dont elle a besoin pour se reproduire. Or, la population s'en porte mieux. Car ce sacrifice favorise l'équilibre de l'écosystème plante/herbivore/pollinisateur : l'effectif des plantes baisse dès les premières attaques, les herbivores se raréfient plus vite, et les plantes peuvent récupérer. *"Cette contraception via les pollinisateurs produit un système plus stable, au bénéfice des trois protagonistes",* résume Paul Glaum, premier signataire de l'étude. **Y.S.**

50 km

C'est l'épaisseur de magma qui serait présente, vers 350 à 400 km de profondeur, sous toute la surface du globe. Le phénomène était déjà suspecté, mais des géophysiciens du laboratoire français Magmas et Volcans et de la Case Western Reserve University à Cleveland viennent d'en apporter la preuve. Cette couche de roche fondue pourrait jouer un rôle important dans les cycles de l'eau et expliquerait aussi certaines formes de volcanisme. **V.N.**

AU PROGRAMME SUR

TCM cinéma



EN MARS

CYCLE

GUERRE : L'APPEL DU DEVOIR

TCM CINÉMA PREND LES ARMES TOUS LES VENDREDIS À 20.45



MÉMOIRES DE NOS PÈRES



FULL METAL JACKET



PLATOON

le meilleur du cinéma américain

disponible sur

CANAL canal 31 | orange canal 55 | SFR canal 162 | bouygues canal 130 | free canal 57 | molotov.tv

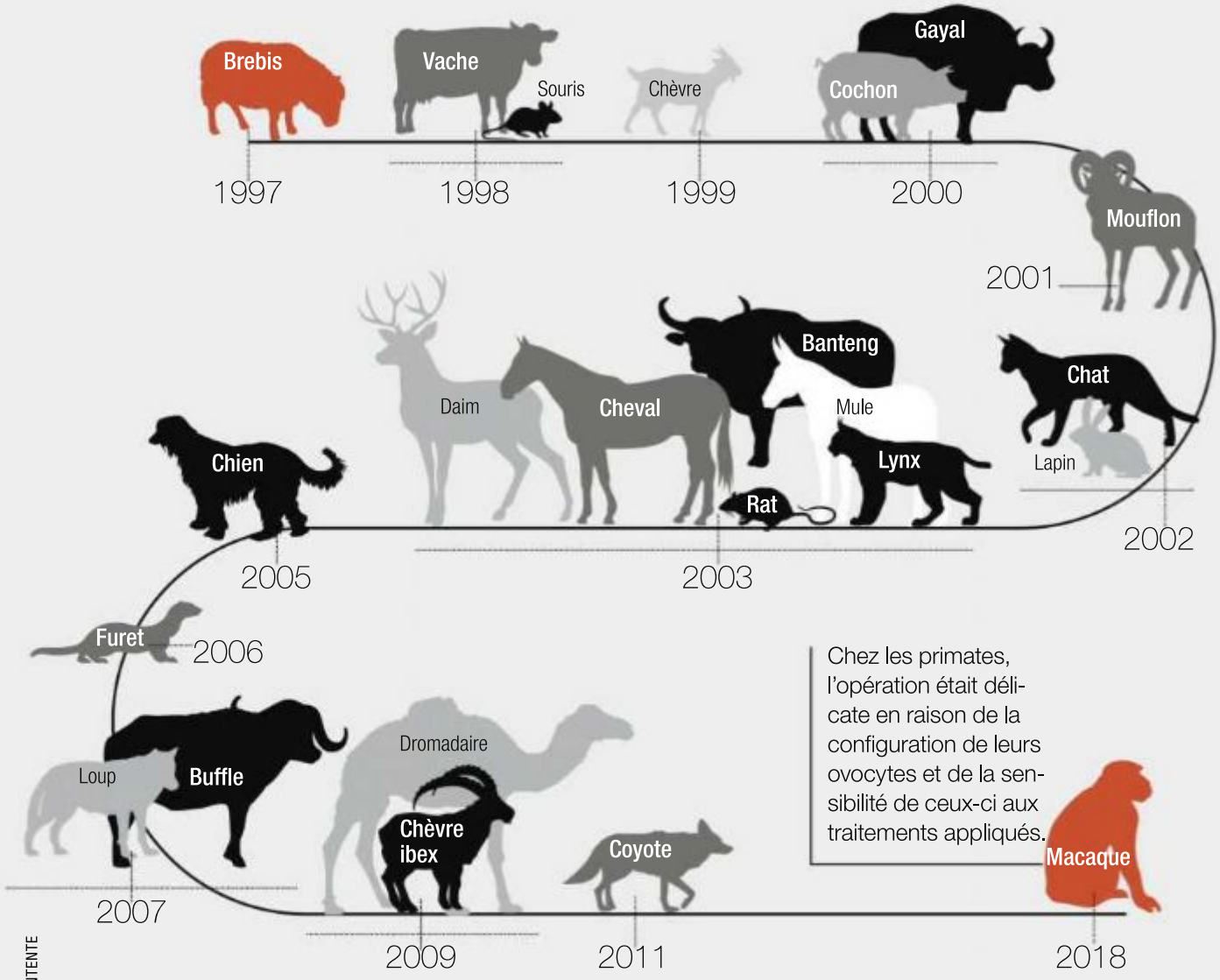
Mémoires de nos pères : © Warner Bros. Entertainment Inc. and Dreamworks LLC - Full metal jacket : © Warner Bros. Entertainment Inc - Platoon © METRO-GOLDWYN-MAYER STUDIOS INC. ALL RIGHTS RESERVED
« Department of Defense. Department of the Navy. Naval Photographic Center »

BIOTECHNOLOGIES

C'EST AU TOUR DES PRIMATES D'ÊTRE CLONÉS

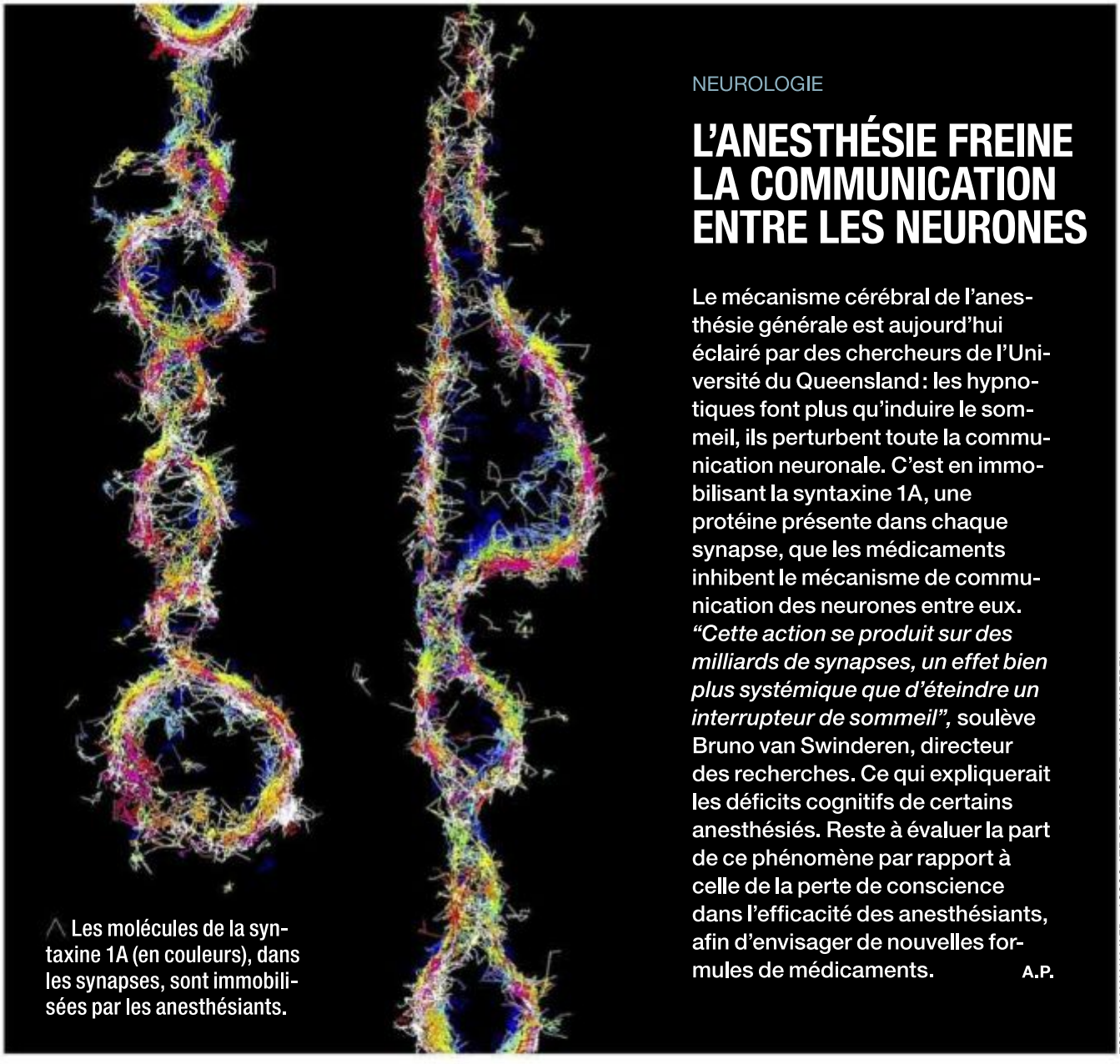
Depuis la brebis Dolly il y a 21 ans, une vingtaine d'espèces de mammifères ont pu être clonés via l'introduction du génome d'une cellule mature dans un ovocyte privé de son noyau. Un pas vient d'être franchi avec la naissance de deux clones de macaques annoncée par une équipe chinoise. La perspective du clonage humain se rapproche.

PAR **ANNE DEBROISE**



M.KONTENTE

Sources : Z.Liu et al., *Cell* (2018) ; N.Rodriguez-Osorio et al., *Theriogenology* (2012) ; I.Hwang et al., *Reproduction Fertility and Development* (2013) ; J.Folch et al., *Theriogenology* (2009).



TORU YAMANAKA/AFP - ASSOCIATE PROFESSOR B.VAN SWINDEREN

Les molécules de la syntaxine 1A (en couleurs), dans les synapses, sont immobilisées par les anesthésiants.

NEUROLOGIE

L'ANESTHÉSIE FREINE LA COMMUNICATION ENTRE LES NEURONES

Le mécanisme cérébral de l'anesthésie générale est aujourd'hui éclairé par des chercheurs de l'Université du Queensland : les hypnotiques font plus qu'induire le sommeil, ils perturbent toute la communication neuronale. C'est en immobilisant la syntaxine 1A, une protéine présente dans chaque synapse, que les médicaments inhibent le mécanisme de communication des neurones entre eux. ***"Cette action se produit sur des milliards de synapses, un effet bien plus systémique que d'éteindre un interrupteur de sommeil",*** **soulève Bruno van Swinderen, directeur des recherches. Ce qui expliquerait les déficits cognitifs de certains anesthésiés. Reste à évaluer la part de ce phénomène par rapport à celle de la perte de conscience dans l'efficacité des anesthésiants, afin d'envisager de nouvelles formules de médicaments.** **A.P.**

PHYSIQUE

L'EXCITONIUM CONSTITUE BEL ET BIEN UN NOUVEL ÉTAT DE LA MATIÈRE

Cinquante ans après sa prédiction, il existe enfin. C'est en refroidissant du diséléniure de titane à - 83 °C qu'une équipe américaine a pu mesurer l'énergie d'excitons… et en déduire qu'ils forment un condensat appelé excitonium. Cet état de la matière apparaît naturellement dans certains matériaux semi-conducteurs, à basse température. Il s'apparente à la supraconductivité, lorsque des paires d'électrons s'assemblent en nombre pour ne faire qu'un, permettant au courant de circuler sans aucune résistance. Sauf que les particules à l'origine de l'excitonium sont électriquement neutres, formées de l'association d'un électron (négatif) et d'un… trou (considéré comme positif). *"L'exciton a tous les attributs d'une particule : une énergie de liaison, un moment magnétique…* détaille Peter Abbamonte, de l'Université de l'Illinois. *Mais difficile de savoir comment l'excitonium se manifeste au niveau macroscopique, car nous venons de le découvrir."* Superfluidité, peut-être ? Ou transport de chaleur sans la moindre dispersion ? Les deux sont envisagés… **B.R.**

ZOOLOGIE

LES CAMÉLÉONS SONT AUSSI DOUÉS DE FLUORESCENCE

Non seulement le caméléon change de couleur mais, exposé à des UV, il s'orne d'une surprenante fluorescence bleutée. Une capacité inattendue qui trouve son origine dans… son squelette.

PAR **THOMAS CAVAILLÉ-FOL**



Comment les caméléons ont-ils pu nous cacher une telle merveille ? Ces sauriens sont depuis longtemps étudiés par les scientifiques, parfois même gardés en vivarium comme animaux de compagnie et scrutés de près pour leurs magnifiques couleurs.

Rare sur la terre ferme

"Seulement, personne n'avait songé à les exposer à une lumière UV", s'amuse David Prötzel, doctorant au musée zoologique de Munich, en Allemagne. C'est lui qui a éventé ce secret, dans une étude publiée par *Scientific Reports*. Car voilà que sous cette lumière spéciale, les caméléons s'ornent de motifs fluorescents bleus et complexes. *"Surtout, cette fluorescence provient de leurs os, ce qui n'avait jamais été observé chez un animal terrestre jusqu'alors"*, pointe le chercheur.

La fluorescence, c'est cette capacité qu'a une substance d'absorber de l'énergie lumineuse pour la convertir quasi instantanément en lumière fluo. À ne pas confondre avec la phosphorescence, où la substance emmagasine de la lumière pour la restituer petit à petit ; ou encore la bioluminescence, qui en est une véritable production. Si la fluorescence est plutôt répandue dans le milieu aquatique, des crevettes aux anémones, elle n'est observée que chez de rares espèces terrestres. *"Pourtant, tous les os frais sont naturellement fluorescents*, commente David Prötzel, *à la manière de vos dents éclairées par une lumière noire."*

Voilà pourquoi les motifs fluorescents des caméléons sont si singuliers : c'est dans les endroits où l'os est particulièrement saillant, et la peau la plus fine, que la fluorescence transparaît. *"Et la question est : ces motifs servent-ils à quelque chose ?"*, aiguille David Prötzel.





Ce sont ses os qui lui donnent sa "signature" fluo

Visibles sous leurs écailles (1), les tubercules osseux des caméléons (2) laissent échapper leur fluorescence naturelle aux endroits où la peau est fine, formant des motifs bleus fluo (3).

D.PRÖTZEL

L'équipe a donc observé, sous lumière UV, plus de 300 caméléons, de toutes les espèces connues.

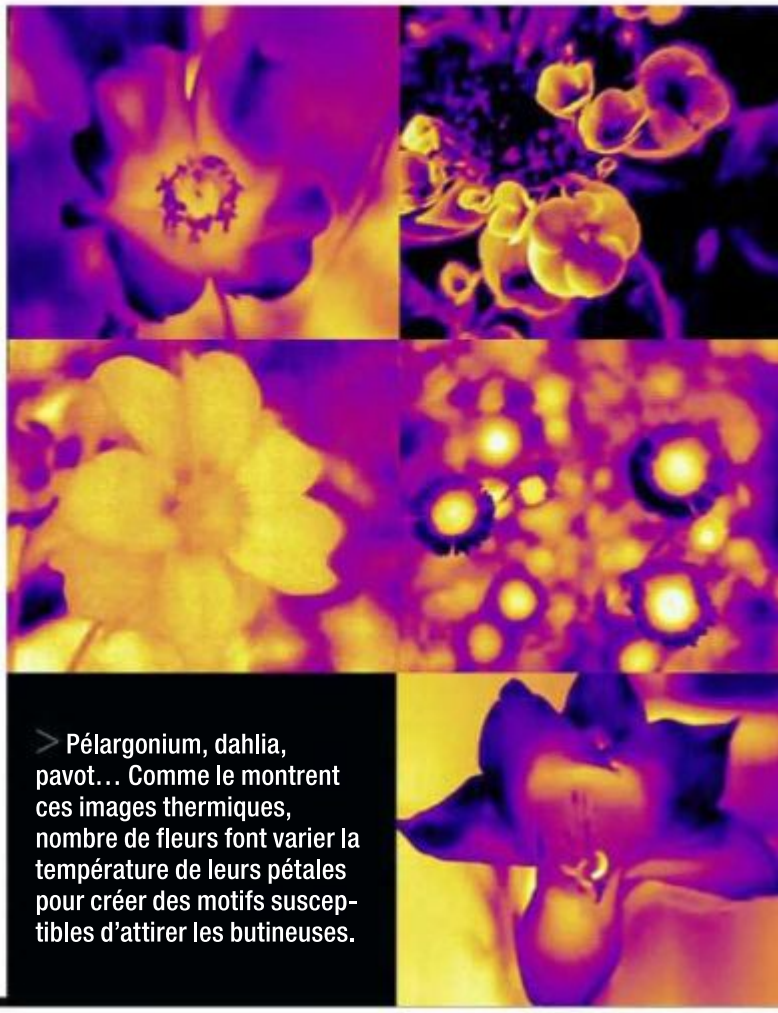
Déjà, ces motifs sont présents chez 9 des 12 genres de caméléons ! *"Cela incite à croire que l'ancêtre commun était lui aussi doué de fluorescence"*, explique le chercheur. Aussi, le nombre et le placement diffèrent entre les espèces et selon le genre, le mâle ayant généralement plus de points fluos que la femelle. *"La fluorescence pourrait donc aider les caméléons d'une même espèce à se reconnaître entre eux"*, propose David Prötzel.

Mais alors, à quel moment ? Pas la nuit, car il faut de la lumière pour fabriquer une fluorescence ; il n'en faut pas trop non plus, sinon la couleur naturelle est plus forte et la fluorescence ne se voit plus. *"Nous pensons que, sous la lumière diffuse d'une jungle profonde, les caméléons peuvent distinguer ces motifs particuliers"*, commente le chercheur. D'autant plus que le bleu fluorescent n'est pas courant dans ces contrées.

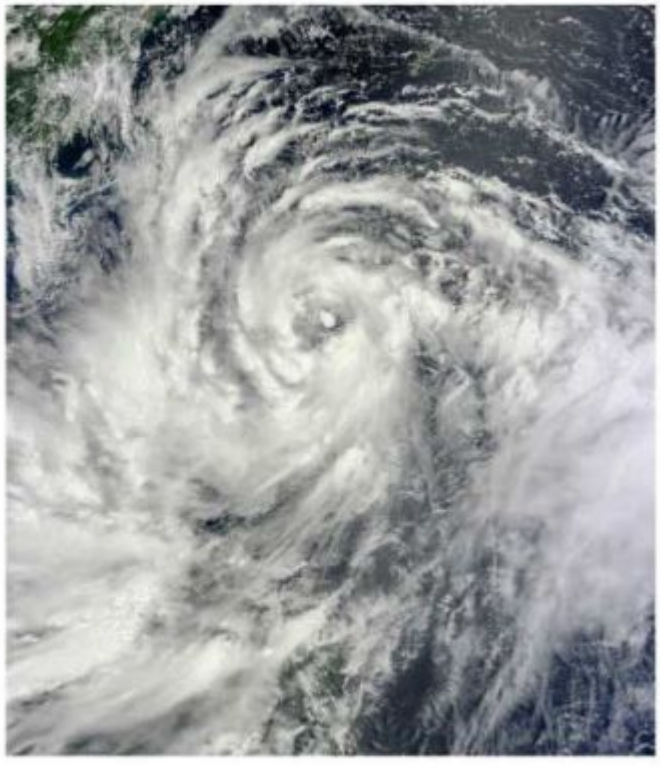
BOTANIQUE

POUR SÉDUIRE, LES FLEURS SCULPTENT LA CHALEUR

Les fleurs nous enchantent par la diversité de leurs formes et couleurs. Mais il y a plus. Des botanistes et éthologues anglais viennent de révéler que l'efflorescence se pare aussi d'un jeu troublant de chaud et de froid. Étoile sur le cœur, liseré ourlé en bordure de pétale… ces parures ne se révèlent qu'à ceux munis d'une caméra thermique : *"Sur les 118 espèces de plantes à fleurs que nous avons thermo-photographiées, plus de la moitié présentent des variations structurées de la température avec des différences dépassant les 2 °C",* explique le biologiste Sean Rands, de l'Université de Bristol. Deux degrés qui suffisent à faire la différence pour les abeilles, munies de capteurs thermiques situés dans leurs antennes et leurs pattes. En reproduisant ces formes sur des fleurs artificielles, les chercheurs ont montré que les insectes apprenaient à associer les motifs de chaleur à la présence d'un délicieux nectar : *"Nous savions que les abeilles étaient sensibles à la température globale de la fleur, mais ces formes thermiques spécifiques s'ajoutent aux multiples stratégies de séduction des fleurs",* souligne Sean Rands. **J.-B.V.**



> **Pélargonium, dahlia, pavot… Comme le montrent ces images thermiques, nombre de fleurs font varier la température de leurs pétales pour créer des motifs susceptibles d'attirer les butineuses.**



EARTH OBSERVATORY/NASA - M.JP.HARRAP ET AL.

GÉOCLIMATOLOGIE

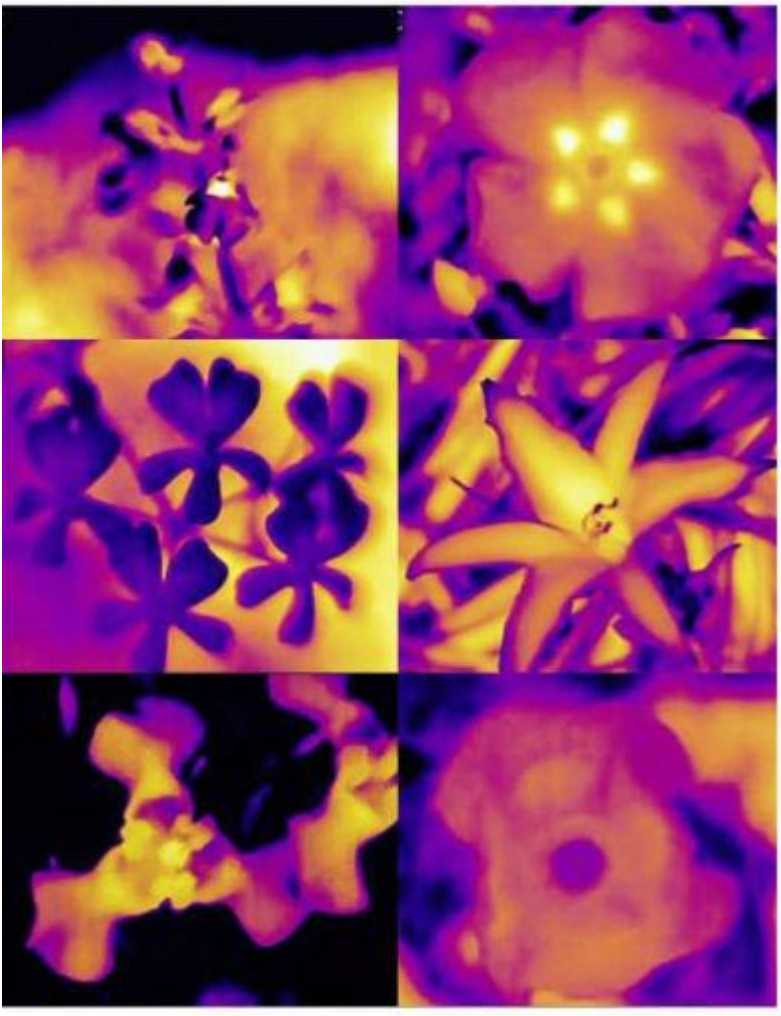
LA VIOLENCE DES TYPHONS DÉFORME LA CROÛTE TERRESTRE

Habitations balayées, forêts arrachées, pans de montagne éboulés… Les cyclones tropicaux sont capables de détruire à peu près tout ce qui se trouve à la surface de la Terre. Plus fort encore, une équipe franco-taïwanaise vient de révéler que cette puissance phénoménale avait même des effets mesurables sur… la croûte terrestre.

"Nous avons étudié 31 typhons survenus à Taïwan entre 2003 et 2014, en comparant les données météo aux mesures de 11 capteurs enfouis à 200 m de profondeur, habituellement dédiés à la surveillance sismique de la région", détaille Maxime Mouyen, géophysicien à l'Université de Rennes.

Résultat ? Pendant le passage du monstre, la

< Les typhons (ici Saola, survenu à Taïwan en 2012) pèsent sur la croûte terrestre via les pluies torrentielles qu'ils déversent.



croûte terrestre se dilate légèrement, gagnant environ 15 cm pour 1 000 km de roche. En cause : la très forte dépression atmosphérique liée au typhon, qui aspire en quelque sorte le sol. Mais ce n'est pas tout : cette déformation est suivie, une dizaine d'heures plus tard, d'une puissante contraction pouvant aller jusqu'à 80 cm pour 1 000 km de roche. Étrange…

"Nous avons démontré que ce phénomène était lié aux pluies torrentielles : au fil des heures, d'énormes quantités d'eau ruissellent vers le fond des vallées et en viennent ainsi à peser significativement sur le sol", poursuit le chercheur.

Or, les contraintes mécaniques engendrées par ces pluies torrentielles seraient largement suffisantes pour déclencher des failles sismiques. *"Il serait tout à fait possible mécaniquement que les typhons soient à l'origine du déclenchement de séismes. Encore faudrait-il en obtenir la preuve concrète",* lance Maxime Mouyen. C'est désormais un nouveau sujet de recherche à part entière. **V.N.**

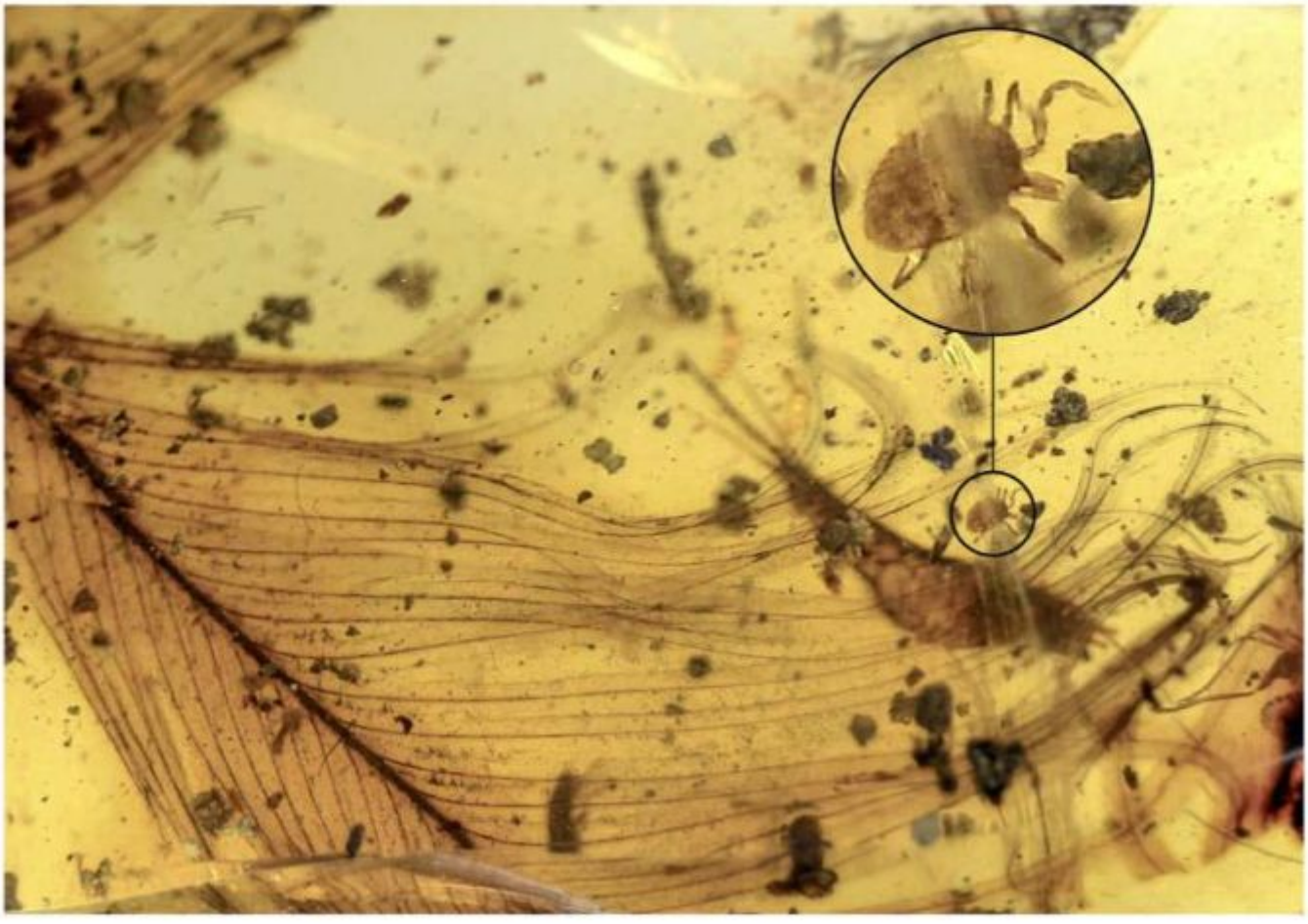
Ça reste à prouver

DES CITÉS ENFOUIES RETROUVÉES GRÂCE À DES FOUILLES NUMÉRIQUES ?

Pas moins de 11 cités perdues de plus de 4 000 ans, situées pour la plupart en Anatolie, ont peut-être refait surface. *"Une redécouverte particulièrement émouvante",* admet Thomas Chaney, à Sciences Po Paris, coauteur de cette fouille. Ce sont les mathématiques et l'informatique qui ont ici joué le rôle de la pelle et du pinceau. C'est pourtant à partir de données inscrites "dans la terre" que la piste a été remontée. Au début de l'âge de bronze (XIX^{e} s. av. J.-C.), des marchands assyriens faisaient prospérer dans ces cités leur commerce, dont ils consignaient l'activité sur des tablettes de terre cuite.

Gojko Barjamovic, assyriologue de l'Université de Harvard, a traduit plusieurs milliers de ces textes. *"À partir de là, nous avons créé une base de données des échanges commerciaux",* explique Thomas Chaney. Provenances, itinéraires de caravanes, positions de 15 cités déjà connues sur les vingt-six citées dans les textes… Ces données dessinent un vaste réseau commercial qu'un modèle mathématique a permis de repositionner sur une carte, révélant la localisation des 11 cités perdues – dont Durhumit, porte d'entrée des contrebandiers, situé entre les villes actuelles de Çorum et Merzifon en Turquie.

"La localisation septentrionale de Durhumit est controversée, tempère l'assyriologue Cécile Michel. *Cette méthode de fouille numérique est intéressante, mais très dépendante du traducteur : trois traductions différentes peuvent conduire à trois localisations."* Selon elle, rien ne remplace la bonne vieille méthode : *"On n'est pas encore allé creuser sur place",* reconnaît Thomas Chaney, qui doute que ces villes aient laissé beaucoup de traces. *"Rien n'est exclu,* assure Cécile Michel. *Elles pourraient être un jour réellement déterrées".* Avis aux explorateurs. **J.-B.V.**



S.WALKER ET AL. - M.KONTENTE

La patte de cette tique est enchevêtrée dans une plume du dinosaure qui était son hôte.

PALÉONTOLOGIE

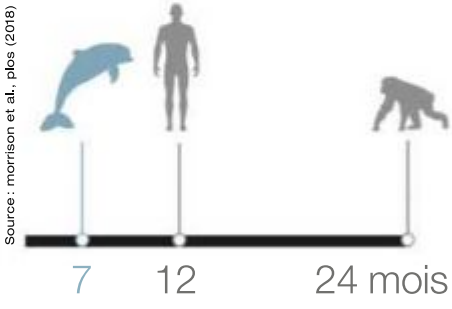
LA TIQUE SE NOURRISSAIT DU SANG DES DINOSAURES

Dans des morceaux d'ambre birmans vieux de 99 millions d'années, l'équipe espagnole d'Enrique Peñalver a retrouvé cinq tiques fossilisées. La première (photo) a une patte enchevêtrée dans une plume de dinosaure : *"C'est la preuve directe que les tiques se nourrissaient du sang des dinosaures !* affirme Enrique Peñalver. Les quatre autres appartiennent à une espèce inconnue, baptisée *Deinocroton draculi.* Sur deux d'entre elles, ont été identifiés des poils d'insectes connus pour vivre dans les nids des théropodes. *"C'est une autre preuve, indirecte cette fois, que les tiques utilisaient les dinosaures comme hôtes",* atteste le chercheur. Enfin, le volume de la cinquième tique est multiplié par huit par rapport à celui de ses congénères, preuve qu'elle vient de se nourrir du sang… d'un dinosaure ! Hélas, elle n'a été que partiellement prise dans l'ambre. Son corps est donc cassé, et il ne reste aucun vestige de son repas à l'intérieur. **C.H.**

ÉTHOLOGIE

LE DAUPHIN RECONNAÎT TRÈS TÔT SA PROPRE IMAGE

En le plaçant devant un miroir sous-marin et en filmant ses mouvements (stationnaire, exploratoire, répétitif…), des chercheurs américains ont réalisé qu'il commence à se reconnaître dès 7 mois. **V.G.**



Âge du début de la reconnaissance de soi pour 3 mammifères.

SCIENCE&VIE
LA BOUTIQUE
Livres & cadeaux scientifiques et insolites
boutique.science-et-vie.com

Des expériences et activités à gogo !



Kit éducatif énergies renouvelables

Procurez-vous vite ce kit pour mieux comprendre la technologie de l'énergie propre à l'échelle miniature. Alimentez un circuit électrique par panneau solaire ou avec une éolienne, générez de l'hydrogène par électrolyse de l'eau et transformez-la en électricité en utilisant une pile à combustible PEM. Quelle que soit la technologie explorée, ce kit est une parfaite base pour appréhender le fonctionnement d'un système à énergie propre.

Paiement en 3X SANS FRAIS **63,33 €** pendant 3 mois

Corps d'éolienne, tête de rotor pour lames profilées, 9 lames profilées pour turbine, adaptateur de tête de rotor pour lames de tôle, 3 lames de tôle en polypropylène pour turbine, outil de déverrouillage du rotor, base de support de turbine, poteau d'éolienne en aluminium, électrolyseur PEM, base d'électrolyseur PEM, pile à combustible PEM, base de pile à combustible PEM, réservoir d'hydrogène, réservoir d'oxygène, conteneurs de gaz intérieurs, base de module de carte de circuit imprimé, module de résistance variable de 100 ohms, panneau solaire de 1 Watt, adaptateurs, gaine de tuyauterie et vanne de purge, instructions d'assemblage, CD avec les manuels du programme, eau. Garantie 1 an.

Pour commander et s'informer

boutique.science-et-vie.com
Exclusivité internet Livraison en Points Relais® / Paiement Paypal®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique Science & Vie - CS 90 125 - 27 091 Évreux cedex 9

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

En cadeau dès **49€ d'achat !**

→ **Le DVD de Science & Vie « L'Univers invisible »**

Commandez vite !



BON DE COMMANDE

À renvoyer dans une enveloppe affranchie avec votre règlement à :
La Boutique Science & Vie - CS 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9

Articles	Ref.	Qté	Prix	S/total
Kit éducatif énergies renouvelables	415.117	x	190 €	€
Sous-total				€
FRAIS D'ENVOI (cochez la case de votre choix)	☐ Envoi normal			+6,90 €
	☐ **Ma commande atteint 49 €** Envoi normal			**Gratuit**
	☐ Envoi Colissimo			+7,90 €
Frais d'envoi offerts dès 49 € de commande !	☐ **Ma commande atteint 75 €** Envoi Colissimo			**Gratuit**
	TOTAL			€

J'indique mes coordonnées :

Nom / Prénom :

Adresse :

CP : Ville :

Tél. :

Email :

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (Groupe Mondadori).

Je choisis mon mode de paiement :

CODE COMMANDE : 431.130

☐ **Par chèque bancaire** à l'ordre de Science & Vie
☐ **en 1 fois,** la totalité de ma commande.
☐ **en 3 fois sans frais** (à partir de 99 €).

☐ **Par Carte bancaire :**
☐ **en 1 fois,** la totalité de ma commande.
☐ **en 3 fois sans frais** (à partir de 99 €).

Expire fin : / Cryptogramme :

Signature :

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande. Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐ Conformément aux dispositions du Code de la consommation concernant le règlement amiable des litiges, Science & Vie adhère au Service du Médiateur du e-commerce de la FEVAD (Fédération du e-commerce et de la vente à distance) dont les coordonnées sont les suivantes : 60 Rue La Boétie – 75008 Paris – http://www.mediateurfevad.fr. Après démarche préalable écrite des consommateurs vis-à-vis de Science & Vie, le Service du Médiateur peut être saisi pour tout litige de consommation dont le règlement n'aurait pas abouti. Pour connaître les modalités de saisine du Médiateur : www.mediateurfevad.fr/index.php/espace-consommateur.



BLOOMBERG/GETTY IMAGES

Salariés ou robots

Les progrès en intelligence artificielle promettent de remplacer les salariés dans de multiples emplois du secteur tertiaire. Combien au juste ? La moitié selon certains, moins de 10 % pour d'autres… Et si le vrai problème de cette nouvelle vague d'automatisation n'était pas tant le chômage que le creusement des inégalités ? Enquête.

PAR **EMMANUEL MONNIER**



Qui sera l'esclave de qui ?

LA QUATRIÈME RÉVOLUTION

XIXe siècle

La vapeur

La machine à vapeur conquiert l'Europe, transformant les sociétés agricoles en sociétés industrielles.

XXe siècle

L'électricité

Elle optimise les processus industriels et fait exploser les rendements ainsi que la production mondiale.

1970-2000

L'informatique

La diffusion des ordinateurs et le développement d'internet font émerger une société de services.

XXIe siècle

L'intelligence artificielle

Robotisation et big data accélèrent l'automatisation de tous les secteurs.

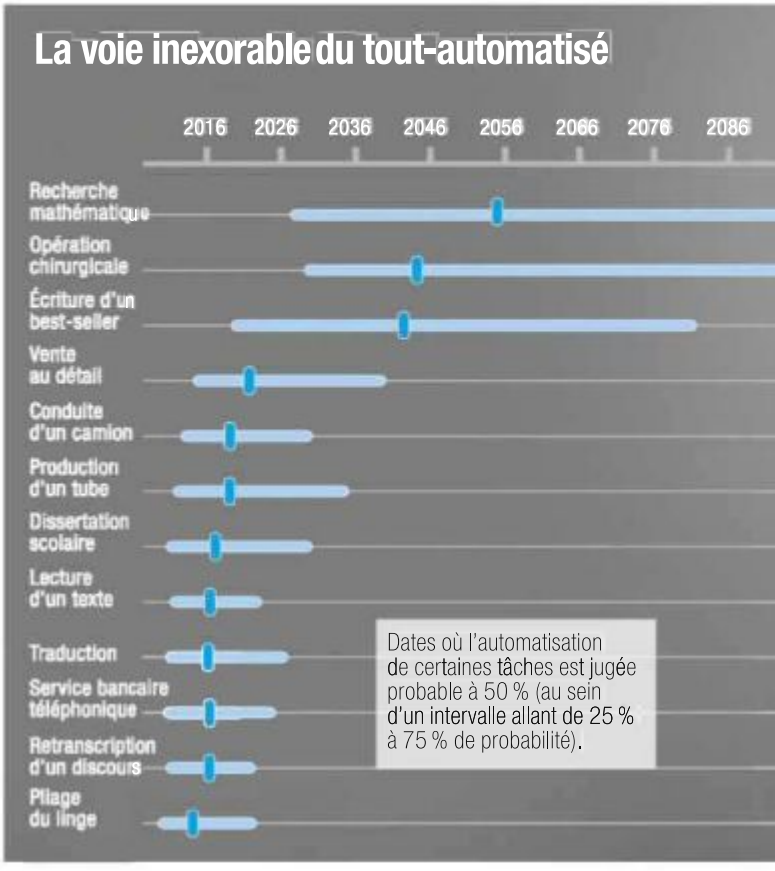
C'est en train de devenir le grand fantasme moderne : les robots vont-ils bientôt occuper tous nos emplois ? Routier, banquier, avocat, agriculteur, journaliste, aide-soignant, chirurgien, comptable, artiste… tous les métiers semblent aujourd'hui concernés. Et chacun de nous peut se poser la question : mon poste va-t-il, un jour prochain, être automatisé ?

"On est au milieu d'une nouvelle révolution", reconnaît Gilles Saint-Paul, professeur à l'École d'économie de Paris. Après la vapeur, l'électricité, l'ordinateur personnel, la robotisation envahit massivement le monde du travail. Elle l'a déjà fait dans les années 1980, direz-vous, avec l'automatisation des usines de manufacture. Oui, mais cette fois, ce n'est plus pour accomplir des tâches élémentaires et répétitives, telles que visser des boulons, mais pour faire ce qui était notre principal atout : réfléchir. Et le faire mieux que nous ! C'est donc désormais le secteur tertiaire qui est concerné (75 % des emplois français en 2014, selon l'Insee). Ouvrant ce que certains économistes ont baptisé le "deuxième âge de la machine".

La vague n'en est qu'à ses débuts. *"Plus nous irons loin dans le deuxième âge de la machine et plus ces prodiges se multiplieront et nous stupéfieront"*, prophétise Erik Brynjolfsson, directeur du Center for Digital Business.

CAPACITÉS VERTIGINEUSES

Car la machine est désormais capable d'apprendre toute seule, et de plus en plus vite – comme l'illustre de façon vertigineuse la récente performance de l'algorithme de Google AlphaZero. Celui-ci n'a eu besoin que de quatre heures de pratique pour battre aux échecs l'un des meilleurs moteurs actuels, lequel, fonctionnant sur la seule puissance de calcul, héritait de Deep Blue, qui avait battu à plate couture le champion humain Kasparov en 1996… De quoi alimenter bien des fantasmes.



Mais, concrètement, quels sont les postes de travail qui ont vocation à être massivement automatisés ? Combien d'emplois humains sont véritablement menacés ? 10 % ? 30 % ? 50 % ? Davantage ? Et d'ici à combien de temps ? Et là, force est de constater que les experts ne sont pas d'accord sur les chiffres.

Des chercheurs de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) avaient, en 2013, calculé que pas moins de 47 % des emplois, aux États-Unis, étaient à haut risque d'automatisation dans les 10 à 20 années à venir, en particulier dans les transports, la logistique, la production et l'administration. Et d'autres études ont annoncé des chiffres comparables pour l'Europe.

Oui, mais dans une étude publiée en 2016 pour l'OCDE, Ulrich Zierhan, au département Marché du travail, ressources humaines et politiques sociales du Centre pour la recherche économique européenne de Mannheim (Allemagne), a évalué, lui, que seulement 9 % en moyenne des emplois seraient à haut risque d'automatisation dans les 21 pays de l'OCDE (avec 6 % en Corée du Sud, contre 12 % en Autriche).

Alors ? 9 % ? 47 % ? Comment expliquer de telles divergences ? *"Beaucoup d'études utilisent des informations qui ne considèrent l'emploi que dans sa*



ULRICH **ZIERHAN**
Centre pour la recherche économique de Mannheim

Un travailleur dont l'emploi est a priori automatisable se spécialise en fait dans les tâches qui ne le sont pas

B.BELLANGER - RETHINK ROBOTICS - DR



Source : Grace et al. (2017)

globalité ; or il y a une très grande diversité de tâches au sein d'un même emploi – deux travailleurs qui ont le même intitulé font souvent, en réalité, des choses très différentes", souligne Ulrich Zierhan. Dès lors, il suffit que quelques-unes de ces tâches ne soient pas automatisables pour que l'être humain conserve l'avantage sur la machine.

UNE AUTOMATISATION PAS TOUJOURS POSSIBLE

Un comptable effectue par exemple beaucoup de calculs répétitifs, mais il a parfois besoin d'interagir avec d'autres personnes. Ce qui rend son poste, en pratique, difficile à automatiser complètement.

"Ce que nous observons, c'est que des travailleurs qui occupent des emplois en apparence hautement automatisables se spécialisent souvent dans les tâches qui ne le sont pas", relève le chercheur de Mannheim, qui a pris en compte ces goulets d'étranglement pour obtenir ses chiffres bien moins élevés. Il reconnaît qu'*"au final, comme il existe de nombreux mécanismes d'ajustement, il est très compliqué de prédire combien d'emplois précisément seront détruits et créés."*

Car l'économiste insiste : ce n'est pas parce qu'un emploi est automatisable qu'il le sera. D'abord parce qu'adopter une nouvelle technologie est un processus long. Automatiser un poste peut se révéler non rentable, être mal accepté par les clients ou se heurter à des freins culturels. D'autre part, même si de nouvelles technologies sont adoptées, les travailleurs peuvent s'y adapter en évoluant vers d'autres tâches. Enfin, même si des emplois sont détruits, le changement technologique en crée d'autres en parallèle (développeurs de logiciels, spécialistes du traitement des données, concepteurs d'interfaces, coordinateurs de robots, sans oublier l'entretien et la maintenance)… En tenant compte des gains de croissance qu'entraînera l'automatisation, estimés à environ 1 % par an, le Boston Consulting Group prévoit, en Allemagne, non pas une montée du chômage, mais… un gain net de 35 0000 emplois d'ici à 2025 ! D'autant que la robotisation permettra de relocaliser en Occident la fabrication industrielle qui avait été délocalisée dans les pays où la main-d'œuvre était moins chère : puisque le robot produit encore moins cher, autant l'installer au plus près.

"La vraie question est donc : lorsque les ajustements auront été faits, les salariés qui ont perdu leur travail vont-ils être embauchés dans d'autres secteurs, avec au final une hausse générale du bien-être de la population, comme cela s'est passé à chaque révolution industrielle ? Ou bien est-ce que cette fois ce sera différent ?", s'interroge Gilles Saint-Paul. Sachant que cette mutation ne se fera pas du jour au lendemain : il a souvent fallu, dans le passé, qu'une génération chasse l'autre pour que les technologies introduites produisent véritablement leurs effets.

NOUVELLES COMPÉTENCES

Quelques indices laissent penser que la révolution en cours échappe aux scénarios classiques. Les économistes observent en effet que depuis la fin des années 1990, l'emploi s'est découplé de la productivité : alors que le PIB et les profits des entreprises atteignent des sommets, cela ne se traduit plus par des créations nettes d'emplois. Pourquoi ?

Dans *Le Deuxième Age de la machine,* Erik Brynjolfsson avance une piste. Quand une technologie élimine des emplois, les travailleurs licenciés acquièrent peu à peu de nouvelles compétences pour retrouver du travail. *"Mais que fait-on si le processus prend une dizaine d'années ? Et si, alors, la technologie change de nouveau ?",* interroge le chercheur. Il est possible que l'accélération technologique dépasse les capacités d'adaptation des sociétés humaines.

L'argument ne convainc pas Ulrich Zierhan : *"Il faut du temps pour qu'une*

technologie soit déployée par les entreprises sur une vaste échelle. On a davantage des évolutions que des révolutions. Et une enquête récente que nous avons réalisée sur des firmes allemandes suggère que ce sera aussi le cas pour cette 'quatrième révolution industrielle'". Au bout du compte, le chercheur prédit: *"Les humains pourront tirer profit du changement technologique s'ils sont capables de permuter vers les tâches qui sont complémentaires des machines."*

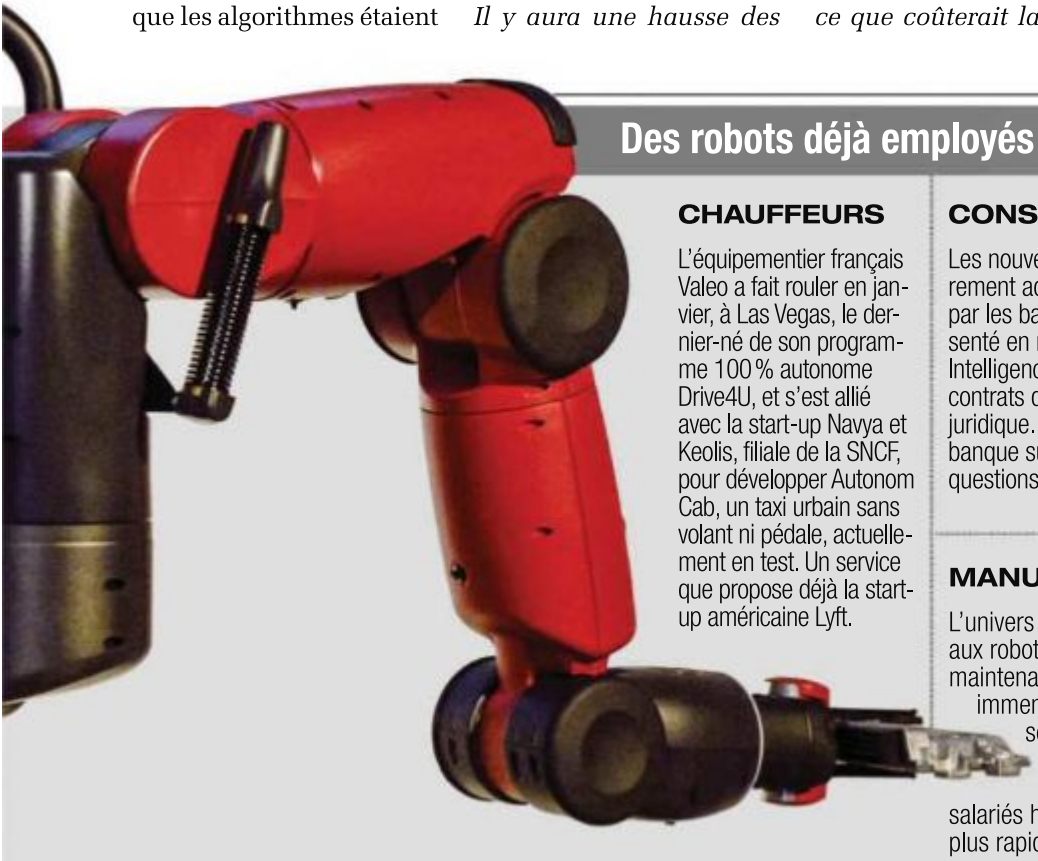
Car l'humain et la machine, quand ils travaillent de concert, sont capables de battre à la fois les autres humains et les autres machines. Une étude du cabinet McKinsey, en septembre 2014, soulignait que les algorithmes étaient plus performants que l'humain pour répondre à des questions précises, mais que seule une synthèse humaine permettait d'assembler ensuite les pièces du puzzle. En d'autres termes, les ordinateurs sont très forts pour répondre aux questions, mais ne savent pas vraiment choisir eux-mêmes les questions les plus pertinentes.

LE DÉFI DE L'ADAPTATION

À l'hôpital, un robot pourrait ainsi multiplier les examens cliniques de routine, donnant au médecin plus de temps pour échanger avec le patient ou se focaliser sur les cas les plus complexes. *"Dans ce cas, la vague d'innovations technologiques aura les mêmes effets que les précédentes. Il y aura une hausse des salaires, et des catégories de travailleurs qui perdront leur emploi à court terme mais feront ensuite autre chose",* veut croire Gilles Saint-Paul. Ulrich Zierhan prévient pourtant que le défi de la reconversion ne sera pas le même pour tous: *"Les travailleurs peu qualifiés, qui affrontent les plus hauts risques d'automatisation, reçoivent aussi moins de formations leur permettant de s'adapter."*

Mais le chômage pourrait n'être que la partie émergée de l'iceberg. *"Il serait plus pertinent, à court terme, de voir l'effet de cette vague d'innovations technologiques sur la distribution des salaires",* selon Gilles Saint-Paul, qui rappelle une évidence: *"Un salarié ne peut gagner plus que ce que coûterait la même tâche effectuée par un robot".* Résultat? Le salaire médian (celui en dessous duquel se situent la moitié des salariés) baisse dans les pays occidentaux depuis les années 1990 (50 054 $ aux États-Unis en 2011, contre 54 932 $ en 1999). Une tendance que la délocalisation de certains emplois en Chine, qui robotise elle-même à tour de bras, ne peut expliquer à elle seule.

Or le salaire moyen, lui, a fortement augmenté. Pas logique? Au contraire. Cela signifie qu'un petit nombre s'est enrichi au détriment des autres. Comme le souligne Erik Brynjolfsson: quand une start-up comme Instagram détrône Kodak sur le marché de la photographie, cela revient à créer plus de richesses, avec moins d'employés que



Des robots déjà employés comme...

CHAUFFEURS

L'équipementier français Valeo a fait rouler en janvier, à Las Vegas, le dernier-né de son programme 100 % autonome Drive4U, et s'est allié avec la start-up Navya et Keolis, filiale de la SNCF, pour développer Autonom Cab, un taxi urbain sans volant ni pédale, actuellement en test. Un service que propose déjà la start-up américaine Lyft.

CONSEILLERS FINANCIERS

Les nouvelles intelligences artificielles sont particulièrement adaptées aux données massives collectées par les banques sur leurs clients. J.P. Morgan a présenté en mars 2017 un programme COIN (Contract Intelligence), qui analyse en quelques secondes des contrats de prêts pour y traquer la moindre erreur juridique. Et c'est Amelia, "employée digitale" de la banque suédoise SEB, qui répond depuis 2016 aux questions les plus fréquentes des clients.

MANUTENTIONNAIRES

L'univers des usines est depuis longtemps familier aux robots. Mais après la production, ils investissent maintenant la manutention et la logistique. Dans les immenses entrepôts d'Amazon, les robots Kiva sont devenus omniprésents pour déplacer rapidement et en silence des linéaires de près de 300 kg et les amener jusqu'aux salariés humains, qui remplissent ainsi beaucoup plus rapidement les paniers de commande.

les 140 000 anciens salariés de Kodak. Mais ce sont les fondateurs d'Instagram, aujourd'hui multimillionaires, qui empochent toute l'augmentation du PIB.

LA RICHESSE ACCAPARÉE

Le numérique, couplé à internet, crée ainsi une situation économique inédite : dans nombre de domaines, le numéro un (Facebook, Google…) rafle tout le marché – dès lors qu'un service est accessible sur toute la planète, et qu'il ne coûte rien à reproduire, être numéro deux, même avec un bon produit, ne sert à rien. Les économistes prédisent par conséquent que dans de tels secteurs, l'essentiel des revenus sera accaparé par quelques élus.

Ce n'est donc sans doute pas tant le chômage que l'augmentation massive des inégalités qui est à craindre. Et la vraie question que posent les robots n'est pas tant celle du "grand remplacement" que celle… de la "grande redistribution".

Robotisation d'un côté, concentration du capital de l'autre. Quels scénarios cela dessine-t-il pour l'avenir ? Une taxe sur les robots couplée à des transferts sociaux ? Une redistribution organisée par les propriétaires de robots eux-mêmes ? Ou peut-être que, sous l'effet du même progrès technique, le salaire de subsistance tombera lui aussi à un niveau si bas qu'il garantira à chacun, malgré des revenus très faibles, un niveau de vie comparable au nôtre ?

Dans tous les cas, le rôle de l'école devra être redéfini. *"La conception commune du système éducatif, c'est qu'il apporte des qualifications permettant d'accroître sa productivité. Mais si toutes les tâches, même qualifiées, sont robotisables, ce rôle de producteur de qualification disparaît"*, remarque Gilles Saint-Paul. Car il est alors plus efficace économiquement de fournir aux gens des robots plutôt que des compétences.

Plus que jamais, l'école devra former des citoyens, dans une société qui, par bien des aspects, et par une ironie singulière de l'histoire, pourrait bien ressembler aux cités grecques antiques, les robots ayant pris la place des esclaves. Se reposera alors la sempiternelle question : comment organiser la cité ?



GILLES **SAINT-PAUL**
Professeur à l'École d'économie de Paris

La question pertinente, à court terme, c'est l'effet de cette vague d'innovations sur la distribution des salaires



RETHINK ROBOTICS - DR

MÉDECINS

En 2015, l'Hôpital des enfants de Boston a adopté le système Watson d'IBM, réputé pour avoir battu ses adversaires humains à des jeux de culture générale, afin d'identifier et de traiter les maladies rares. L'Université de Stanford, elle, a développé un logiciel plus performant pour repérer un cancer de la peau que les dermatologues eux-mêmes.

MUSICIENS

Un robot peut-il vraiment avoir l'oreille musicale ? Le programme Amper est en tout cas capable de composer et de jouer de la musique de façon quasi autonome. La chanteuse américaine Taryn Southern l'a utilisé pour composer son nouvel album, *I Am AI*, se contentant de lui fournir quelques indications et de lui prêter sa voix.

ANIMATEURS

Parce qu'ils suscitent la curiosité, les robots s'imposent dans les foires et halls d'exposition. Ils dansent, jouent ou guident les visiteurs. Nao, conçu par Aldebaran, fait ses débuts dans des maisons de retraite, pour animer des jeux de loto, proposer des jeux de mémoire ou discuter sans s'épuiser avec un malade d'Alzheimer.

AGRICULTEURS

Les robots prennent la clé des champs. Tracteurs et voitures deviennent autonomes. Dino, le robot enjambeur de Naïo Technologies, désherbe tout seul, aidé d'Oz, son petit frère qui bine, tracte et transporte, guidé par sa caméra laser, sur des terrains plats et bien alignés. Ou des machines d'EcoRobotix, testées cette année dans les grands champs de betteraves et de colza pour limiter les épandages d'herbicides.

JOURNALISTES

En mars 2015, pour couvrir le premier tour des élections départementales, le site web du *Monde* a utilisé un logiciel apte à écrire 36 000 petits articles en moins d'une heure, pour donner les résultats canton par canton. Comptes rendus de matchs ou résultats boursiers, les robots rédacteurs comme ceux du français Syllabs ou des américains Automated Insights et Narrative Science sont imbattables pour fournir des textes aux informations calibrées.

L'éolien va décliner avec le réchauffement climatique

1 Europe du nord-ouest

Record du monde de puissance

Le Royaume-Uni et le nord-ouest de l'Europe connaissent des vents parmi les meilleurs du monde en intensité et en régularité, avec 831 kW de puissance moyenne. Leur évolution connaît une baisse modérée, entre 0 et 10 % d'ici à la fin du siècle. Pas de quoi s'inquiéter outre-mesure.

2 Bassin méditerranéen

En baisse modérée dès 2030

Les côtes méditerranéennes et la péninsule Ibérique sont la partie la plus ventée du sud de l'Europe. La baisse annoncée est de 0 à 20 % sur le bassin méditerranéen, mais la présence de montagnes et un littoral découpé rendent nécessaires des études locales plus fines.

3 Middle West

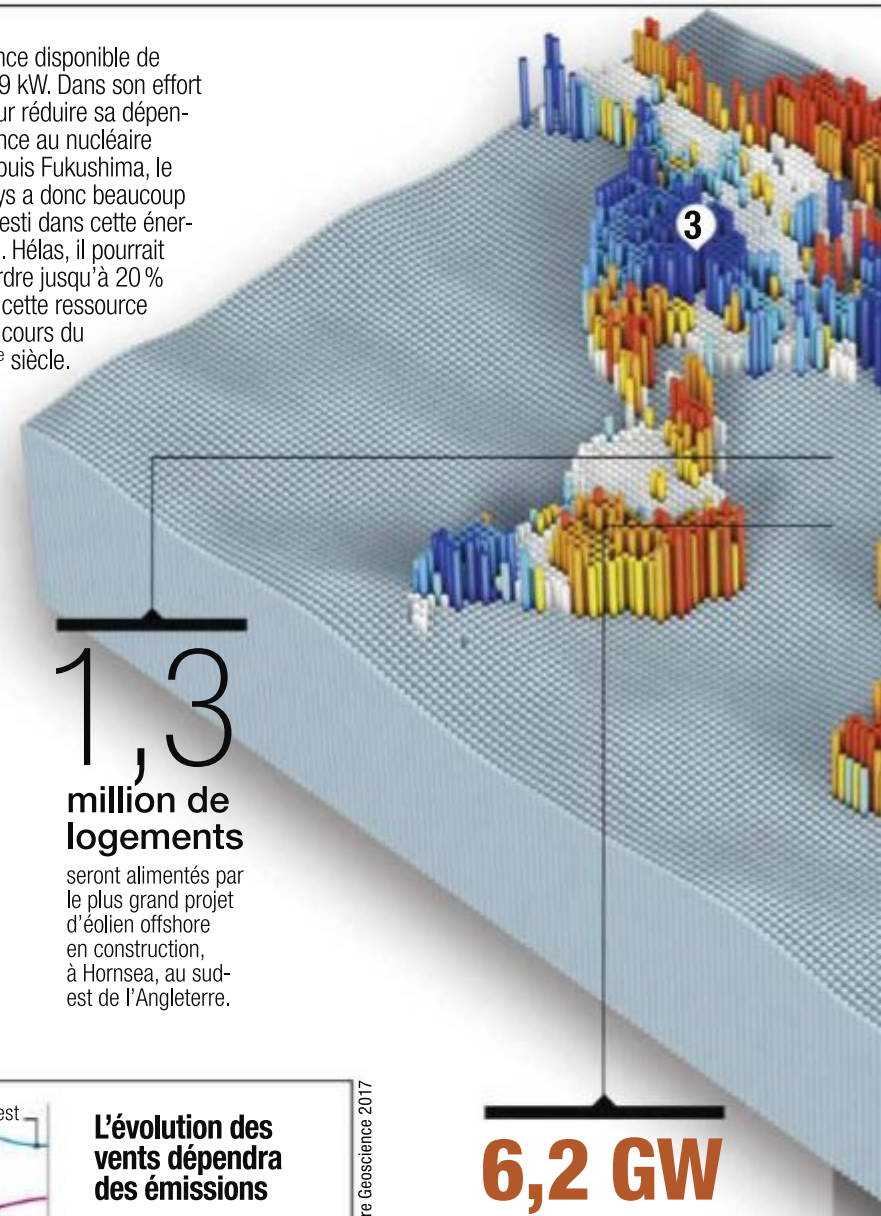
Effondrement des vents

Les grandes plaines américaines forment un couloir bordé par les montagnes, où soufflent des vents puissants et réguliers. Ceux-ci connaîtront une chute spectaculaire sous l'effet du réchauffement du nord du continent, pouvant dépasser 40 % selon certains modèles.

4 Japon

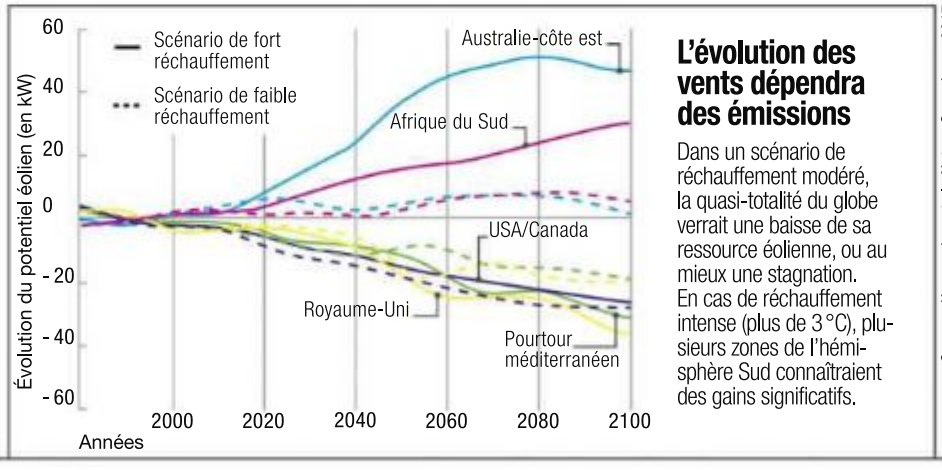
Objectif : sortir du nucléaire

Le Japon dispose d'un des meilleurs gisements éoliens, avec une puissance disponible de 609 kW. Dans son effort pour réduire sa dépendance au nucléaire depuis Fukushima, le pays a donc beaucoup investi dans cette énergie. Hélas, il pourrait perdre jusqu'à 20 % de cette ressource au cours du XXe siècle.



1,3 million de logements

seront alimentés par le plus grand projet d'éolien offshore en construction, à Hornsea, au sud-est de l'Angleterre.



B.BELLANGER - G.CIRADE

L'évolution des vents dépendra des émissions

Dans un scénario de réchauffement modéré, la quasi-totalité du globe verrait une baisse de sa ressource éolienne, ou au mieux une stagnation. En cas de réchauffement intense (plus de 3 °C), plusieurs zones de l'hémisphère Sud connaîtraient des gains significatifs.

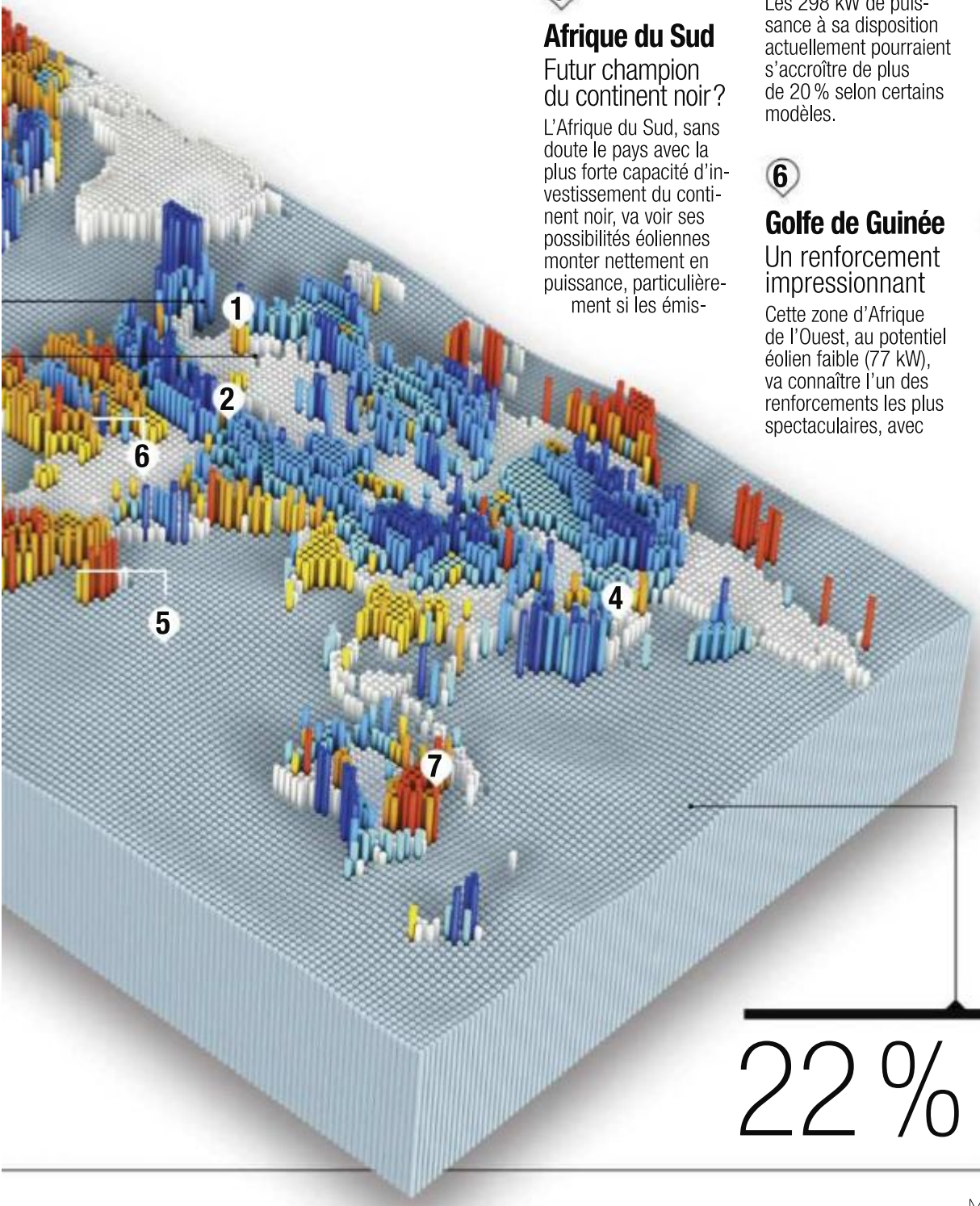
Source : Karnauskas et al., Nature Geoscience 2017

6,2 GW

C'est la puissance éolienne record installée en 2017 en Allemagne (équivalente à 7 réacteurs nucléaires). Les projections de l'évolution des vents pour l'Europe continentale se contredisent. Une situation délicate, alors que le Vieux Continent se trouve dans une phase d'investissements croissants.

La ressource éolienne se réduira dans l'hémisphère Nord à l'horizon 2100. En cause ? Le réchauffement fulgurant de l'Arctique, qui grippe le moteur du vent, à savoir l'écart thermique entre tropiques et pôles. Ce déclin ne sera que partiellement compensé par des gains dans l'hémisphère Sud, où la disposition des continents est différente.

PAR **YVES SCIAMA**



5

Afrique du Sud

Futur champion du continent noir ?

L'Afrique du Sud, sans doute le pays avec la plus forte capacité d'investissement du continent noir, va voir ses possibilités éoliennes monter nettement en puissance, particulièrement si les émissions restent fortes. Les 298 kW de puissance à sa disposition actuellement pourraient s'accroître de plus de 20 % selon certains modèles.

6

Golfe de Guinée

Un renforcement impressionnant

Cette zone d'Afrique de l'Ouest, au potentiel éolien faible (77 kW), va connaître l'un des renforcements les plus spectaculaires, avec 4 modèles prédisant des accroissements de plus de 40 %. Le différentiel de température entre terres surchauffées et océan plus frais va en effet s'accroître, mettant en mouvement les masses d'air.

7

Australie

Grand gagnant de l'éolien

L'Australie connaîtra une nette intensification des vents sur sa côte nord-est, tandis que la partie sud du continent restera propice aux éoliennes, avec une puissance de 591 kW. Une piste pour sortir de la dépendance au charbon ?

ÉVOLUTION DU POTENTIEL ÉOLIEN ANNUEL À L'HORIZON 2080-2100 DANS LE CAS D'UN FORT RÉCHAUFFEMENT

- +80 à +100 kW
- +40 à +80 kW
- 0 à +40 kW
- 0 à -40 kW
- -40 à -80 kW
- -80 à -100 kW
- Incertain ou non significatif

22 %

C'est le taux de croissance annuel de la puissance éolienne installée au niveau mondial, depuis 2006.

Sans la Chine, l'Europe se cherche une poubelle

La décision, annoncée brutalement en juillet dernier, entre en vigueur le 1er mars: dorénavant, les ports chinois n'accepteront plus les millions de tonnes de déchets à peine triés que lui expédient, entre autres, les pays européens. Et ces mesures drastiques, prises pour des raisons environnementales, sèment la panique! L'industrie doit trouver en urgence une solution pour quelque 24 catégories de détritus solides: plastiques, papiers, rebuts métalliques… L'Europe ne dispose actuellement d'aucune infrastructure pour bien trier ces matières: que faire, alors, de ces montagnes impossibles à stocker? Les enfouir? Les incinérer? Les expédier ailleurs? Ou alors investir lourdement pour mieux les traiter? L'Europe est au pied du mur.



La Chine, le président Xi Jinping en tête, ne veut plus des déchets mal triés de l'Europe.

Que faire de… nos papiers?

Nos 8 millions de tonnes de papiers et cartons expédiés chaque année en Chine sont pollués de plastiques, de textiles ou de verre. L'Europe n'a pas, à ce jour, d'usine pour traiter ces enchevêtrements. Or, le stockage de telles quantités est impossible, ne serait-ce qu'en raison du risque d'incendie.

En bref



785 000

C'est le nombre de bébés nés en France en 2017. Soit 14 000 de moins qu'en 2015. L'âge moyen des mères pour l'ensemble des naissances, que les enfants soient les premiers-nés ou non, est de 30,6 ans en 2017. **C.T.**

76 km

C'est la longueur de la plus longue ligne à haute tension électrique souterraine installée en France! Tout juste inaugurée en Bretagne, cette ligne de 225 000 V relie Lorient à Saint-Brieuc et devrait permettre de davantage sécuriser la région, en situation péninsulaire, face à de potentiels coups durs énergétiques. **M.V.**

… de nos plastiques ?

Sans débouché chinois, l'Europe se retrouvera cette année face à 3 millions de tonnes de mélanges de polyéthylène, polychlorure de vinyle et téréphtalate. Pour en faire une matière première, il faudrait investir dans des installations capables de séparer finement ces divers composés. À la rigueur, ils pourraient produire un peu d'énergie en brûlant. Mais en termes d'économie circulaire, ce ne serait pas très glorieux…

… de nos métaux ?

La Chine ne veut plus de nos câbles ni de nos petits ou gros moteurs électriques, encore moins des boues et scories issues de nos industries sidérurgiques. Ces déchets ont de la valeur mais sont très complexes à traiter.

V.N.

#FAKENEWS



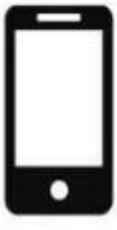
C.PLATIAU/REUTERS - SHUTTERSTOCK - TONWEN JONES/COLAGENE

Non, la semaine de quatre jours n'est pas bonne pour les enfants !

Jean-Michel Blanquer, le ministre de l'Éducation nationale, le répétait encore fin novembre sur France Inter : *"Quand je suis arrivé dans mes fonctions, j'avais sur mon bureau une étude de la Depp* [Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance] *qui montrait de façon extrêmement documentée qu'il n'y avait pas d'impact sur la performance scolaire selon que l'on se trouve à quatre jours ou à quatre jours et demi."* Voilà qui propage l'idée selon laquelle le choix redonné aux communes d'organiser la semaine scolaire avec ou sans école le mercredi ou le samedi matin n'influe pas sur la réussite des élèves…

Sauf que cette idée, elle est fausse ! Les études des chronobiologistes font, au contraire, consensus : *"L'aménagement hebdomadaire en quatre jours n'est pas favorable à l'enfant car celui-ci est plus désynchronisé le lundi et le mardi matin que dans la semaine habituelle de quatre jours et demi"*, note par exemple un rapport de l'Académie de médecine de 2010. Quant à l'étude citée par le ministre, c'est probablement celle de juin 2017, qui comparait différentes organisations de la semaine de quatre jours et demi, et non les deux types de semaine…

Contacté, le ministère indique que le ministre n'est pas revenu sur ses propos. Il est vrai qu'il n'est pas facile de défendre une décision dont tout indique qu'elle va à l'encontre du bien des enfants… **K.B.**



500 millions

Soit le nombre d'iPhone (versions 6, 6S, SE) ralentis volontairement par Apple dans le monde. Pour inciter à acheter le tout dernier modèle ? Non, pour mieux gérer le fonctionnement des batteries dans certaines conditions, rétorque le constructeur. Une plainte a été déposée en France pour obsolescence programmée… **V.N.**



+ 3,6 %

C'est le dépassement des émissions de CO_2 de la France en 2016 par rapport aux objectifs assignés. En cause : la baisse du prix du pétrole, le recours au charbon pour compenser les pannes des réacteurs nucléaires, et la mauvaise isolation thermique des bâtiments. **V.N.**

Les taxis volants sont en passe de devenir une réalité

Pourra-t-on bientôt rallier le centre de Paris, de l'aéroport de Roissy, en quelques minutes, à bord d'un taxi volant ? Il y a seulement quelques années, cette idée évoquait plutôt les fantasmes futuristes du cinéma, type *Cinquième Élément* ou *Blade Runner*. Sauf que la donne a changé – et même très vite ! Car voici que de petits aéronefs autonomes, électriques et à décollage et atterrissage verticaux, semblent désormais prêts à embarquer jusqu'à trois personnes pour de courts trajets à travers les cieux urbains.

Le premier signal a été donné en janvier 2016, à Las Vegas, au salon Consumer Electronics Show (CES), lorsque le fabricant de drones chinois Ehang a fait voler son monoplace Ehang 184, qui ressemble déjà fortement à une sorte de taxi volant. Une première mondiale !

Mais le véritable déclic a eu lieu en octobre 2016, avec la société Uber et son livre blanc sur son projet Elevate, dans lequel le géant américain des VTC a esquissé les contours d'une future offre de mobilité aérienne. Lors d'une conférence donnée à Dallas, son directeur Aviation Mark Moore – fraîchement débauché de la Nasa – a cité comme cas d'école le trajet entre l'aéroport de la ville texane et son centre-ville, qui prend 90 minutes en voiture… et pourrait se réduire à 8 minutes en commandant un Uber Air. Et ce n'est pas juste pour épater la galerie : la compagnie imagine déjà pouvoir déployer entre 500 et 1 000 de ces taxis volants dans les mégalopoles congestionnées…

Pour ce faire, elle a contracté des partenariats avec la Nasa et des industriels en vue de réaliser de premières démonstrations à Dallas et à Dubaï d'ici à 2020, pour de premiers vols commerciaux d'ici à 2023.

À PARTIR DE 2020

Plus concret encore : en septembre dernier, s'est déroulé un premier vol test à Dubaï – sans survol de public – du biplace E-volo fabriqué par Volocopter, une start-up allemande soutenue financièrement par Daimler. Les autorités émiraties avaient affiché leur volonté d'introduire un service de taxi volant E-volo d'ici à 2022, capable d'assurer 25 % du trafic de passagers en ville en 2030.

Il n'en fallait pas plus pour que les poids lourds de l'aéronautique commencent à dévoiler les prototypes qu'ils gardaient secrètement sous leur coude. Airbus en développe trois, dont un quadricoptère de 4 places dénommé CityAirbus, et un monoplace, Vahana, qui vient d'effectuer ses premiers vols d'essai dans l'Oregon. *"Ces appareils seront commercialisés pour le début de la décennie 2020"*, confirme le directeur Électrification de l'avionneur européen, Glenn Llewellynn. Tandis que Boeing, de son côté, a annoncé le rachat d'Aurora Flight Sciences, une compagnie partenaire d'Uber qui développe des aéronefs militaires autonomes pour la Nasa. *"On ne peut plus croire que c'est un buzz, cela va arriver !"*, en conclut Didier Godart, vice-président Innovation chez le motoriste Safran.

Si tous ces appareils à décollage et atterrissage verticaux fleurissent, c'est notamment grâce au progrès de la propulsion électrique. *"Les derniers moteurs électriques sont à la fois compacts et puis-*



L'E-volo de Volocopter a effectué un premier essai à Dubaï… en évitant toutefois de survoler les zones habitées.

VOLOCOPTER

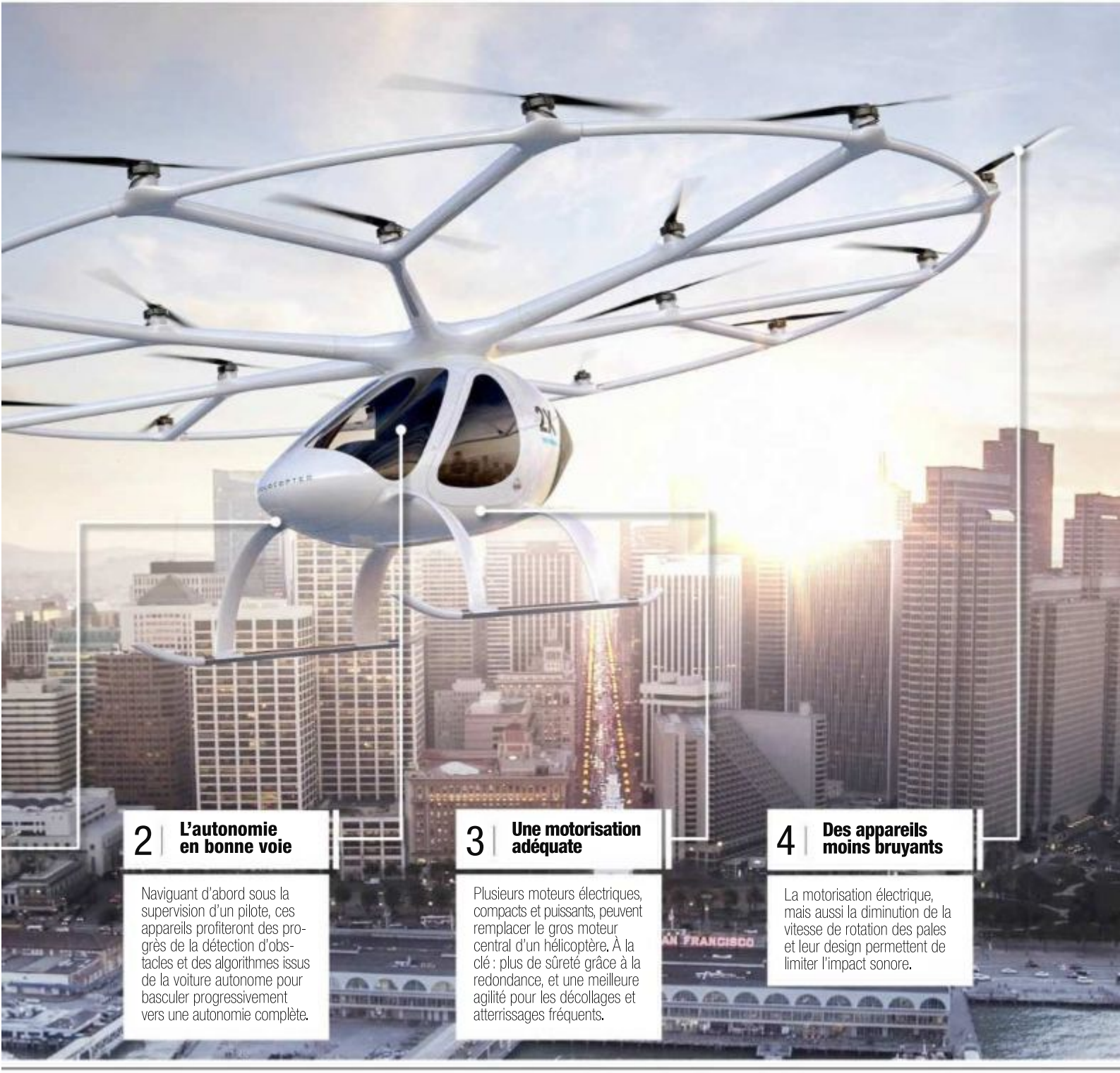
LES OBSTACLES MAJEURS ONT ÉTÉ VAINCUS

1 Des batteries plus puissantes

D'une densité énergétique de 180 kWh/kg qui devrait doubler d'ici à 2030, les packs de batteries lithium-ion peuvent déjà alimenter des vols tout électriques d'appareils légers pendant 15 à 30 minutes.

Hybrides entre un hélicoptère et un drone, 100 % électriques, les premiers taxis volants pourraient faire leur entrée dans nos villes bien plus tôt que prévu. Avant même la voiture autonome ! Plusieurs constructeurs ont d'ailleurs dévoilé leurs prototypes. De quoi redéfinir la mobilité urbaine en survolant les bouchons ?

PAR **HUGO LEROUX**



2 | L'autonomie en bonne voie

Naviguant d'abord sous la supervision d'un pilote, ces appareils profiteront des progrès de la détection d'obstacles et des algorithmes issus de la voiture autonome pour basculer progressivement vers une autonomie complète.

3 | Une motorisation adéquate

Plusieurs moteurs électriques, compacts et puissants, peuvent remplacer le gros moteur central d'un hélicoptère. À la clé : plus de sûreté grâce à la redondance, et une meilleure agilité pour les décollages et atterrissages fréquents.

4 | Des appareils moins bruyants

La motorisation électrique, mais aussi la diminution de la vitesse de rotation des pales et leur design permettent de limiter l'impact sonore.

5 prototypes en concurrence



CityAirbus

Ce quadriplace aligne 4 doubles rotors fixes de 200 kW développés avec Siemens pour une vitesse de croisière de 120 km/h.

Constructeur : Airbus Helicopters

1er vol d'essai : 2018

1ers vols commerciaux : 2023

Ehang 184

Avec ses 4 doubles rotors fixes, cette cabine monoplace de 240 kg, capable d'embarquer 120 kg supplémentaires (passagers et bagages), pourrait filer à 100 km/h.

Constructeur : Ehang

1er vol d'essai : non-annoncé

1ers vols commerciaux : non-annoncés





Vahana

Avec ses mini-ailes pour un vol de croisière plus économe, et ses 8 hélices inclinables verticalement ou horizontalement, ce monoplace promet une portée de vol de 80 km.

Constructeur : A^3, filiale d'Airbus

1er vol d'essai : 2017

1ers vols commerciaux : 2022

sants, tandis que les progrès des commandes automatiques permettent de coordonner plusieurs petits moteurs. Les constructeurs peuvent donc imaginer des architectures de véhicules bien adaptées aux vols urbains", expose Claude Le Tallec, expert en véhicules autonomes à l'Onera. Avec le triple avantage de générer moins de bruit, d'offrir plus d'agilité et de garantir plus de sécurité que le moteur central d'un hélicoptère, la panne d'un élément pouvant être ici compensée par une redondance. Sachant qu'au niveau de l'alimentation, les batteries lithium-ion bénéficient de l'industrialisation des voitures électriques : *"Elles suffisent désormais à alimenter ces appareils pour des vols de 15 à 30 minutes, avec des portées d'environ 80 km"*, complète Claude Le Tallec.

Reste pour les constructeurs à trouver le bon design, le juste compromis entre sécurité, vitesse, autonomie, confort de vol et bruit… Certains privilégient un grand nombre de rotors fixes taillés pour le décollage et l'atterrissage ; d'autres misent sur des conceptions plus complexes, comme des hélices inclinables, de manière à pouvoir basculer verticalement en mode "croisière". *"Aux débuts de l'automobile, il existait une grande variété d'architectures, avant que les constructeurs ne convergent petit à petit vers un design dominant. Nous sommes en plein dans cette phase d'ébullition"*, s'enthousiasme Didier Godart.

AVEC OU SANS PILOTE ?

Mais l'avènement de ces taxis volants dépend avant tout d'une inconnue réglementaire : ni avions, ni hélicoptères, ni drones, ils n'entrent pas dans les processus de certification bien rodés des autorités de sûreté aérienne… qui se creusent la tête pour savoir quels critères de vérification adopter (lire interview). *"L'un de nos principaux points de discussion avec la FAA* [l'autorité de sûreté américaine, ndlr] *concerne la sécurité du pack de batteries"*, raconte Diana Siegel, directrice du programme eVTOL d'Aurora. De fait, l'autorité américaine reste marquée par sa décision, en 2013, de clouer au sol tous les Boeing 787 Dreamliner, les premiers à utiliser la technologie lithium-ion, suite à un feu de batteries en vol… Un éventuel accident risquerait de discréditer pour longtemps ces nouveaux appareils aux yeux du grand public !

Autre inconnue : quel degré d'autonomie accorder à ces appareils ? *"Le scéna-*



E-volo

Doté de 18 rotors fixes, ce biplace pionnier des appareils électriques à décollage et atterrissage verticaux est conçu pour voler à 70 km/h sur près de 30 km.
(Voir photo page précédente)

Constructeur : Volocopter

1er vol d'essai : 2017

1ers vols commerciaux : 2023

eVTOL

En faisant un compromis entre mini-ailes et propulseurs fixes horizontaux et verticaux, ce biplace ambitionne des capacités de vol trois fois supérieures à ses meilleurs concurrents.

Constructeur : Aurora, filiale de Boeing

1er vol d'essai : 2019

1ers vols commerciaux : non-annoncés



rio le plus probable est qu'il subsiste, au moins dans un premier temps, un pilote dans l'appareil, puis au sol. Mais celui-ci n'aura qu'un rôle de gestionnaire du vol. La plus grande partie du pilotage sera automatique, comme ce que l'on voit sur les avions de ligne", prévoit Claude Le Tallec.

Reste qu'avec de telles précautions, le prix d'une course dans ces premiers taxis volants ne semble pas près d'égaler celui d'un taxi classique, comme le rêve Uber. *"Le service sera d'abord déployé sur des lignes stratégiques reliant un point A à un point B, pour une clientèle premium, avant de s'étendre progressivement à d'autres cas d'usage"*, reconnaît Diana Siegel.

Le fantasme de bataillons de taxis volants envahissant les trottoirs pour récupérer leurs clients semble également lointain : dans son livre blanc, Uber exhorte plutôt au développement d'infrastructures spécifiques, des "Vertiports", sur le toit des immeubles.

Bref, si commander un taxi volant dans votre jardin sur un simple coup de smartphone n'est peut-être pas pour demain, en observer les premiers vols pourrait arriver finalement assez vite. En la matière, le futur est bel et bien en train de prendre son envol.



PATRICE **DESVALLÉES**

Directeur adjoint en charge des projets émergents à la Direction générale de l'aviation civile

"Le vol en autonomie complète compte encore trop d'inconnues"

S&V : Pourquoi n'existe-t-il pas, à l'heure actuelle, de cadre règlementaire pour ces nouveaux appareils ?

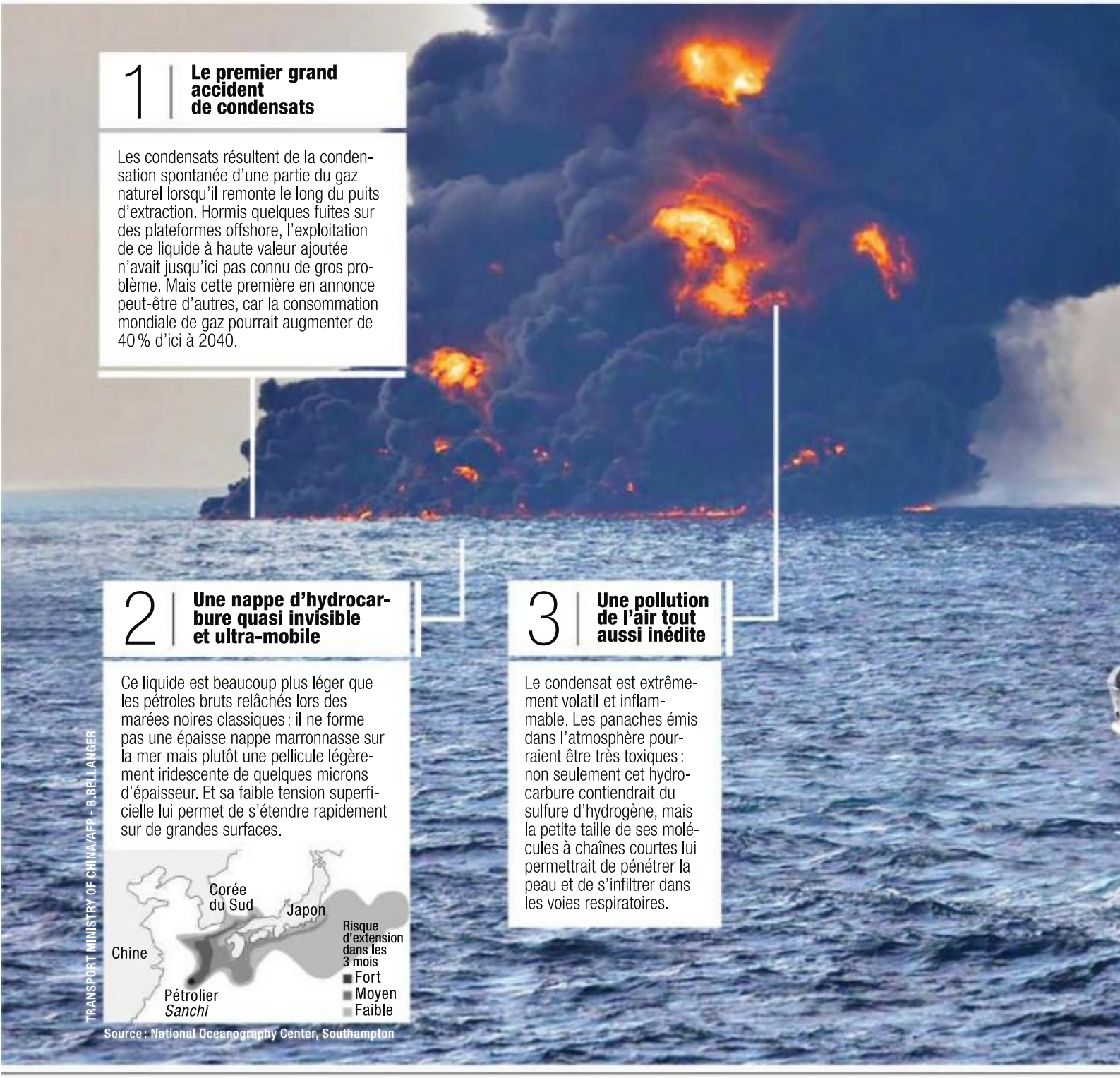
P.D. : Toute la difficulté est d'établir des règles sans brider l'évolution technologique qui est toujours en cours. On peut comparer la situation avec celle des drones : après quelques années de concertation avec les fabricants, de premières expérimentations sur la livraison de marchandises sont en cours en France, et des discussions ont débuté au niveau mondial pour la définition de couloirs aériens à moins de 150 m d'altitude.

S&V : Les constructeurs annoncent pourtant la commercialisation (donc la certification) d'engins autonomes d'ici à 2022. Sont-ils trop optimistes ?

P.D. : Il y aura une approche graduelle partant des cas les moins complexes : trajets d'un point A à un point B, survol sans risque… En revanche, le vol en autonomie complète, sans aucune supervision humaine, comporte encore trop d'inconnues. D'abord techniques : les algorithmes actuels ne sont pas prédictibles ; en face d'une même situation accidentogène, ils peuvent développer des comportements différents ! Juridiques et assurancielles ensuite : qui est responsable en cas d'accident ? Et surtout sociétale : l'encombrement de notre ciel par des engins volants automatisés n'est pas encore une idée acceptable par la majorité de la population.

AIRBUS - EHANG - EVTOL - L.VILLERET/DOLCE VITA

Une marée noire d'un nouveau genre



1 Le premier grand accident de condensats

Les condensats résultent de la condensation spontanée d'une partie du gaz naturel lorsqu'il remonte le long du puits d'extraction. Hormis quelques fuites sur des plateformes offshore, l'exploitation de ce liquide à haute valeur ajoutée n'avait jusqu'ici pas connu de gros problème. Mais cette première en annonce peut-être d'autres, car la consommation mondiale de gaz pourrait augmenter de 40 % d'ici à 2040.

2 Une nappe d'hydrocarbure quasi invisible et ultra-mobile

Ce liquide est beaucoup plus léger que les pétroles bruts relâchés lors des marées noires classiques : il ne forme pas une épaisse nappe marronnasse sur la mer mais plutôt une pellicule légèrement iridescente de quelques microns d'épaisseur. Et sa faible tension superficielle lui permet de s'étendre rapidement sur de grandes surfaces.

Source : National Oceanography Center, Southampton

3 Une pollution de l'air tout aussi inédite

Le condensat est extrêmement volatil et inflammable. Les panaches émis dans l'atmosphère pourraient être très toxiques : non seulement cet hydrocarbure contiendrait du sulfure d'hydrogène, mais la petite taille de ses molécules à chaînes courtes lui permettrait de pénétrer la peau et de s'infiltrer dans les voies respiratoires.

TRANSPORT MINISTRY OF CHINA/AFP - B.BELLANGER

Le 8 janvier dernier, le pétrolier iranien *Sanchi* percutait un cargo hongkongais au large de Shanghai avant de prendre feu, ne laissant aucune chance à ses 32 marins. À bord : 136 000 tonnes d'un hydrocarbure aux propriétés très singulières – des "condensats" – qui depuis ne cessent de se répandre. Un événement inédit.

PAR **VINCENT NOUYRIGAT**



4 | Des équipes de nettoyage impuissantes

Il faudrait parvenir à retrouver ces discrètes nappes de condensats, retirer cette fine pellicule de la mer et concentrer de grandes quantités de cet hydrocarbure hyper-inflammable… À ce jour, personne ne sait vraiment faire.

5 | Des effets inconnus sur la biodiversité

Presque aucune étude n'a été menée sur les effets des condensats sur la faune aquatique. Et les avis des scientifiques divergent sur la capacité de ces hydrocarbures à entrer dans la chaîne alimentaire ou à être biodégradés.

Qu'est-ce qui fait marcher le bitcoin ?

Simple curiosité il y a quelques années, la monnaie virtuelle bitcoin a vu son cours flamber de plus de 1000 % au cours de l'année 2017… avant de plonger début 2018. "L'or numérique" est l'objet d'une intense spéculation qui irrite certains États. Mais comment fonctionne cette "crypto-monnaie" ?

PAR **HUGO LEROUX**

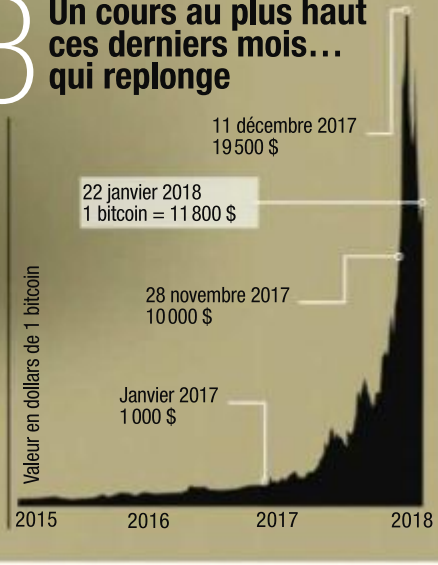


SHUTTERSTOCK - M.KONTENTE - T.REUTERS

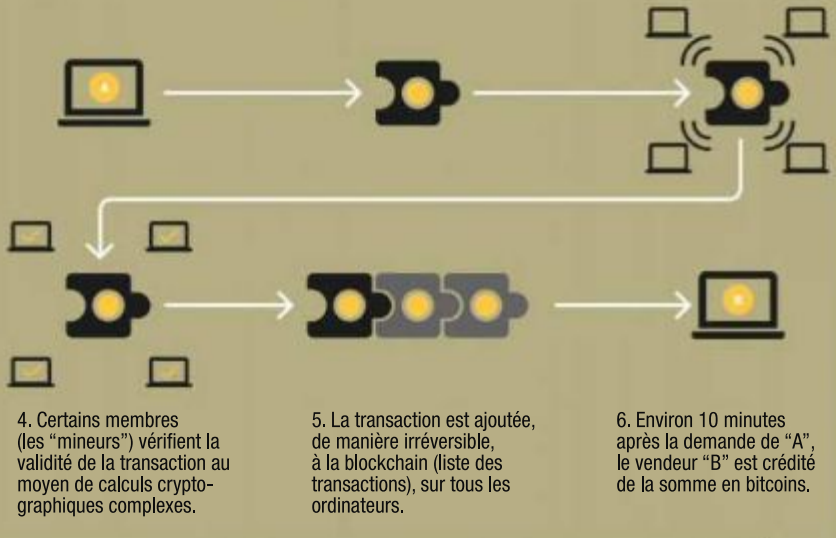
1 Une monnaie infalsifiable basée sur la cryptographie

Les bitcoins ne sont pas matérialisés par des pièces de monnaie, ils sont virtuels. Chacun d'eux est en fait un registre de ses propriétaires successifs… et tous ces registres sont stockés sur les ordinateurs du réseau participant aux échanges. Point fort du système : la transparence ! Chacun peut accéder à tout moment à l'immense liste de transaction (la blockchain), publique, décentralisée et infalsifiable. À cela s'ajoute une validation de la transaction via un processus de cryptage complexe assuré par certains membres du réseau, les "mineurs".

3 Un cours au plus haut ces derniers mois… qui replonge



Une monnaie permettant de réaliser des échanges anonymes quasi instantanés via internet: tel était l'objectif des développeurs qui, au milieu des années 2000, ont créé le bitcoin. Leur démarche était sous-tendue par la philosophie d'une monnaie qui ne serait adossée à aucun État, banque ou autorité centrale – et qui, pour s'en affranchir, serait générée grâce à des algorithmes et distribuée via un gigantesque réseau "pair à pair" (P2P). Si d'autres monnaies virtuelles ont vu le jour dès la fin des années 1990, l'innovation du bitcoin et de son mystérieux créateur, Satoshi Nakamoto, a été de proposer un système de cryptage complexe permettant de sécuriser les transactions. Si bien que l'on peut aujourd'hui presque tout acheter avec des bitcoins: voitures, billets d'avion, métaux précieux… Depuis la première transaction en 2010, le cours du bitcoin a vu sa cote et le nombre de ses utilisateurs exploser en 2017. Avant de connaître un brusque effondrement début 2018 suite au durcissement des autorités à l'égard des crypto-monnaies, principalement en Corée du Sud et en Chine.



2 Des unités de plus en plus difficiles à générer

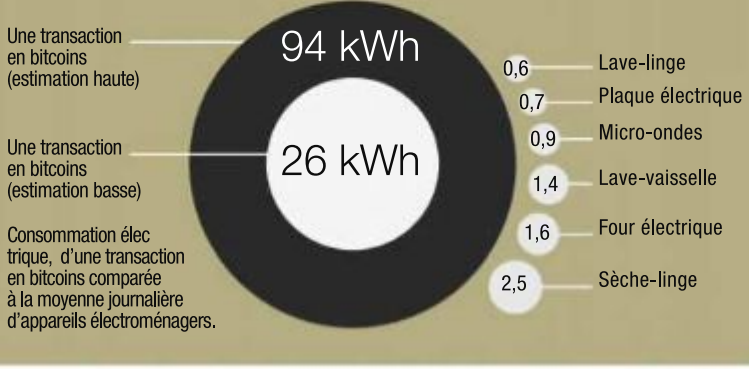
Dès l'origine, la quantité maximale de bitcoins sur le marché a été fixée à 21 millions. Les nouveaux bitcoins sont générés en rétribution du travail des "mineurs", qui assurent la validation des échanges grâce à la puissance de calcul de leurs ordinateurs.



Sur 21 millions de bitcoins potentiels, 17 millions sont déjà en circulation.

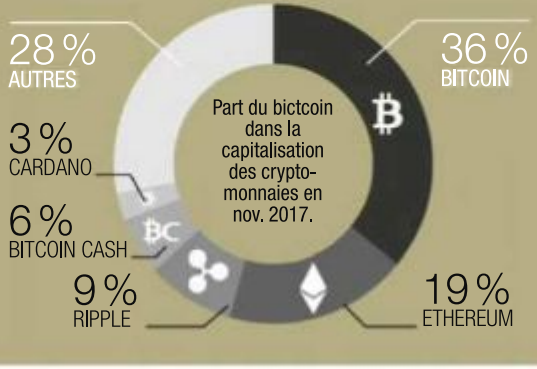
4 Une utilisation extrêmement énergivore

Le registre des transactions s'allongeant sans cesse, le calcul des preuves cryptographiques permettant de les valider est de plus en plus gourmand en puissance… si bien que l'ensemble du réseau consommerait autant que le Danemark!



5 Plus de 1 000 autres crypto-monnaies en circulation

D'innombrables crypto-monnaies concurrentes du bitcoin ont été créées. Chacune possède des spécificités techniques propres.



Sources: blockchain.info - coinmarketcap.com - motherboard.vice.com

L'étrange affaire… des vidéos d'ovnis de l'armée américaine

Rappel des faits
L'officine To The Stars Academy a dévoilé le 16 décembre une vidéo d'ovni issue de l'armée américaine. Relayée ensuite par le *New York Times* et très commentée sur les réseaux sociaux.

Le 16 décembre dernier, était divulguée une vidéo très troublante prise par une caméra installée à bord d'un avion de combat américain. Ce film de 34 secondes a très vite enflammé les esprits : on peut y voir une forme étrange évoluant dans le ciel, dépourvue visiblement de système de propulsion et dont les attitudes de vol semblent défier les lois de l'aérodynamique. Avec, en prime, les commentaires interloqués des pilotes de chasse à l'œil pourtant exercé : *"Mon Dieu !"*, *"Regarde ce truc, mec"*...



Dans le viseur de l'avion américain, un objet non-identifié apparaît. Des aliens ?

Aucune information n'a été transmise sur la date ou le lieu de cette mystérieuse rencontre. Les métadonnées accompagnant l'image permettent juste d'en déduire que l'objet a été enregistré à environ 7 600 m d'altitude avec une caméra militaire ultra-pointue – système ATFLIR – dédiée au repérage des cibles à grande distance.

UNE OFFICINE NÉBULEUSE

Que faut-il en penser ? *"Ce dossier mérite clairement des investigations, mais encore faudrait-il pouvoir accéder au document original"*, lance Antoine Cousyn, analyste vidéo du groupe Ipaco, qui collabore avec le Groupe d'études et d'informations sur les phénomènes aérospatiaux non-identifiés, basé à Toulouse.

Il est vrai que la source de cette révélation incite à la prudence : l'étrange vidéo n'a pas été rendue publique par le Pentagone mais par un fort nébuleux centre de recherches privé, baptisé To The Stars Academy… La garantie d'un énième faux ridicule ? Pas si sûr : cette officine compte tout de même dans ses rangs des anciens de la CIA, des ingénieurs en aéronautique et, surtout, l'ancien responsable du très sensible programme de surveillance des phénomènes aériens non-identifiés de l'US Army, Luis Elizondo. Lequel a démissionné de ses fonctions en octobre dernier, en emportant probablement dans sa besace quelques fichiers aussi intrigants que cette vidéo. Bref : même si la traçabilité de ce document n'est pas clairement établie, il pourrait bien être authentique.

Plusieurs hypothèses ont déjà été avancées pour expliquer le phénomène : il pourrait s'agir d'un drone ou d'un essai de missile à partir d'un sous-marin, ou alors d'une bombe planante… Cette dernière proposition expliquerait d'ailleurs les esquisses d'ailerons que l'on croit deviner sous certains angles. *"Mais ces 'ailerons' pourraient tout aussi bien être un artefact lumineux, un reflet créé sur la caméra, aussi perfectionnée soit-elle,* reprend Antoine Cousyn. *De même que le virage très prononcé de l'objet, à la fin de la vidéo, pourrait s'expliquer par les effets de rotation interne des caméras embarquées. En fait, il faudrait pouvoir accéder aux propriétés techniques précises du système vidéo de cet appareil militaire, mais on se heurte là au secret défense."*

Une autre piste ? Selon Antoine Cousyn, ce document ressemble à s'y mé-

prendre à une vidéo qui a été prise à partir d'un hélicoptère de l'armée chilienne le 11 novembre 2014. Les pilotes avaient observé pendant plus de dix minutes un objet volant décrit comme blanc et ovale, ne répondant à aucune sollicitation radio et larguant des matières non-identifiées.

Or, une analyse récente montre qu'il s'agissait probablement d'un banal avion de ligne au fuselage très clair, avec aux commandes un pilote qui ne se sentait pas concerné par les appels radio qui lui étaient envoyés. Quant au panache de matières non-identifiées, il pourrait s'agir de la traînée de condensation… voire des eaux usées éjectées des toilettes de l'appareil.

D'AUTRES VIDÉOS ?

Avion, drone, missile, engin ultra-secret, effet d'optique. Ou alors… ou alors… un vaisseau extra-terrestre ?! *"Sans accès aux données techniques, toutes ces hypothèses restent spéculatives,* répète Antoine Cousyn. *Mais attendons, on nous promet de nouvelles vidéos…"* **V. Nouyrigat**

#C'EST DIT !



US DEPT OF DEFENSE - S.AQUINDO

Il n'y a pas plus traumatisant qu'un viol !

Harcèlement, agressions sexuelles, viols… Avec l'affaire Weinstein, la parole des femmes s'est libérée, révélant les violences dont elles étaient jusqu'alors les victimes silencieuses. Pourtant, à contre-courant de ce mouvement, certains ont dénoncé un vent de puritanisme et une victimisation des femmes, l'auteure Catherine Millet allant même jusqu'à *"s'étonner que des femmes violées en parlent comme d'un traumatisme terrible"*. *"J'ai toujours pensé que c'était bien plus grave d'être dans un accident de voiture (…) que d'être violée (...). Je regrette beaucoup de ne pas avoir été violée parce que je pourrais témoigner que du viol, on s'en sort"*, ajoutait-elle dans une émission de radio diffusée en décembre. Des propos qui ont choqué mais qui sont surtout démentis… par la science ! Dans une étude publiée pour l'OMS en octobre dernier et menée dans 24 pays sur 50 855 personnes, des chercheurs ont montré que, parmi 29 traumatismes qu'une personne pouvait subir dans sa vie (guerre, maltraitance infantile, viol, violences conjugales, accident de voiture, catastrophe naturelle, décès inattendu d'un proche, etc.), le viol était – et de loin ! – celui qui engendrait le plus souvent un syndrome de stress post-traumatique : 19 % des victimes en ressentent les symptômes (réapparition incontrôlée des souvenirs traumatiques, cauchemars, hypersensibilité à certains stimuli, persistance d'émotions négatives, etc.), contre "seulement" 3,6 % des soldats de retour d'une zone de conflit et… 2,6 % des accidentés de la route. Alors, certes, du viol on peut s'en sortir, mais c'est souvent au prix de séquelles psychologiques qui peuvent perdurer des années. **C.H.**

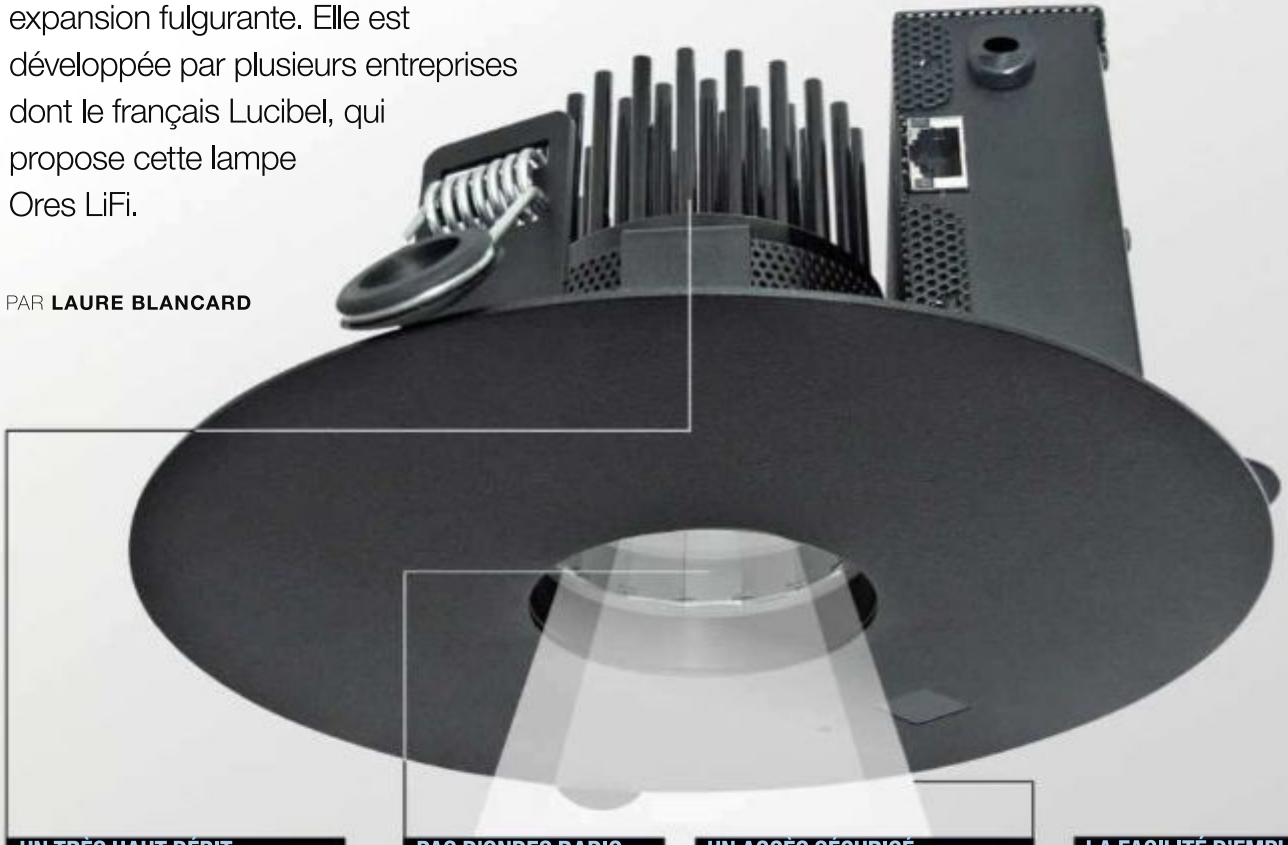
Les lampes Li-Fi révolutionnent l'accès à internet

Véritable alternative au Wi-Fi, la technologie Li-Fi (pour Light Fidelity), qui donne accès à internet par la lumière, débute une expansion fulgurante. Elle est développée par plusieurs entreprises dont le français Lucibel, qui propose cette lampe Ores LiFi.

PAR **LAURE BLANCARD**

75,5 MILLIARDS DE DOLLARS

C'est ce que représentera le marché mondial du Li-Fi en 2023.
(Source : Global Market Insights)



LUCIBEL

UN TRÈS HAUT DÉBIT

Fixé au plafond et connecté à un câble Ethernet, le luminaire Li-Fi remplace l'habituelle box internet et fournit un réseau haut débit sans fil de 42 Mbit/s aujourd'hui – l'équivalent du Wi-Fi – et de 1 Gbit/s dans quelques années. Jusqu'à 8 utilisateurs peuvent se connecter en même temps sur un seul hotspot lumineux. Intéressant pour des espaces très fréquentés, comme les aéroports ou l'intérieur des trains…

PAS D'ONDES RADIO

La technologie Li-Fi utilise la lumière LED (modulée à une fréquence élevée) pour transmettre les données d'internet. Elle peut donc être déployée dans tous les endroits où les ondes radio sont interdites, comme les crèches ou les hôpitaux. Seule contrainte : il faut que la lampe reste allumée.

UN ACCÈS SÉCURISÉ

Contrairement au Wi-Fi qui, lui, traverse les murs, la connexion internet en Li-Fi est uniquement accessible à l'intérieur du cône lumineux de 3 m de diamètre projeté par la lampe. Cela crée une zone d'échange de données sécurisée qui ne peut pas être piratée de l'extérieur. Certaines entreprises, comme des banques, l'ont déjà adoptée.

LA FACILITÉ D'EMPLOI

Branchée sur l'ordinateur, une grosse clé USB Li-Fi est le sésame permettant la transmission bidirectionnelle de données avec la lampe. Mais d'ici quelques années, la technologie sera directement intégrée à l'intérieur des smartphones et des tablettes. Elle pourra alors être déployée auprès du grand public.

SCIENCE&VIE

VOUS PRÉSENTE SA NOUVELLE

Croisière Capitales de la Baltique

du 16 au 23 juin 2018

Un concert privé de l'orchestre philharmonique de St Petersbourg à la plus belle des saisons : les nuits blanches !









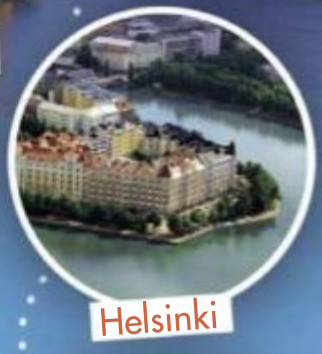
Des conférences passionnantes sur l'histoire et la géopolitique des grandes villes de la Baltique animées par Monsieur **Maurice CARREZ***, conférencier.

Spécialiste de l'Europe du Nord et de la zone baltique, directeur au CNRS, agrégé d'histoire et ancien élève de l'école normale.

LES POINTS FORTS DE VOTRE CROISIÈRE

- Un **itinéraire spectaculaire** de 8 jours à la découverte des splendeurs du Nord : **Saint Pétersbourg, Stockholm, Helsinki** et **Tallinn**
- Des **excursions** élaborées spécialement pour nos lecteurs
- Des **escales longues** pour profiter au maximum de chaque ville : avec même une nuit à St Petersbourg et deux nuits à Stockholm !
- Le Costa Magica, votre **navire à l'élégance italienne**, qui vous ravira par ses nombreux espaces chaleureux et diverses ambiances







* Sauf cas de force majeur

Téléchargez la documentation complète sur

www.croisieres-lecteurs.com/sv

ou écrivez-nous en renvoyant le coupon ci-dessous.

Informations & réservations

01 41 33 57 05

en précisant le code : SCIENCEETVIE

Du lundi au vendredi de 9h30 à 12h00 et de 14h00 à 18h00.

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE - Croisière Les capitales de la Baltique - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

CB18BALP

❑ OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de cette croisière Les capitales de la Baltique proposée par Science&Vie.

Nom :..... Prénom :.....

Adresse :.....

.....

Code postal : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Ville :.....

Tél : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Email :.....

❑ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires. Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ❑ OUI ❑ NON

Conformément à la loi "Informatique et liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos ©ISTOCK. Cette croisière est organisée en partenariat avec SELECTOUR Bleu Voyages (Neige et Soleil Voyages SAS). IMMATRICULATION IMO38120003 • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766). Science&Vie est une publication du groupe Mondadori France : 8 rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex.

SCIENCE&VIE

Futur

Science & société

MARS 2018

FRANCE

SUÈDE

ROYAUME-UNI

ÉTATS-UNIS

JAPON



© A.ROSENFELD/DIVERGENCE - M.KONTENTE

LA CIOTAT
(FRANCE)



Projet de nurseries artificielles pour repeupler la mer

Reconstituer la faune marine là où l'homme a modifié les rivages… voici la mission que s'est fixée la société montpelliéraine Ecocéan. Pour y parvenir, ces spécialistes de la gestion halieutique ont mis au point des "biohuts" sous-marines, sortes de tentes réalisées à l'aide de grillages et de coquilles d'huîtres, qui vont servir d'abris aux espèces menacées. Une fois ces nurseries installées, près de 1 000 jeunes poissons ont été relâchés au large de La Ciotat, en mer Méditerranée. Un projet qui va s'étendre jusqu'en 2020 à Cassis et à Marseille. Ecocéan envisage également d'installer ces structures artificielles dans les ports de Rotterdam, aux Pays-Bas, et d'Elseneur, au Danemark. **E.T.-A.**

LINKÖPING (SUÈDE)

Une tour mi-bureaux mi-ferme est en cours

La compagnie suédoise Plantagon construit à Linköping une tour de 60 m de hauteur destinée à accueillir à la fois des bureaux et, sur sa façade sud, des fermes. Elles produiront de la nourriture pour 5000 personnes, les plantes poussant dans des pots individuels à taille modulable en fonction de leur croissance. Ces pots seront garnis de pierre ponce, afin d'éviter la transmission de bactéries et de moisissures ; la roche peut être stérilisée par micro-ondes et réutilisée pendant six à sept ans. Eau, ensoleillement, température et air seront contrôlés automatiquement. La construction devrait s'achever en 2020. **S.F.**

PLANTAGON - AIRBUS DEFENCE - M.KONTENTE

FARNBOROUGH
(ROYAUME-UNI)

Un drone solaire pourrait remplacer les satellites

Voler haut, bien plus haut que les avions, pour faire office de satellite d'observation et de communication, en relayant le signal internet ou en surveillant des territoires reculés. Sans les problèmes ni les coûts liés aux lancements spatiaux. C'est la quête d'Airbus, qui développe le drone solaire Zephyr avec l'aide du constructeur de Formule 1 Williams. Les premiers exemplaires, d'une envergure de 22,5 m et avec une autonomie potentielle de plusieurs mois grâce à leurs cellules photovoltaïques, sont actuellement fabriqués à Farnborough. **F.G.**





ÉTATS-UNIS



Un camion tout électrique est prêt à rouler

Tesla innove dans le transport de marchandises avec le Semi, un camion 100 % électrique. Capable de convoyer un volume de 36 t sur 800 km sans être rechargé, il dispose d'une autonomie record pour sa catégorie. Sa puissance lui permettra de grimper des pentes de 5 % à plus de 100 km/h, vante le constructeur. Début de la production annoncé pour 2019. **G.S.**

BAGAILLE MOON FOU - TESLA - TOYOTA - M.KONTENTE

FRANCE



L'idée de voiles photovoltaïques pour cargos prend forme

Rendre le transport maritime international autonome énergiquement : c'est le défi que se sont lancé deux Français, Gilles Serre, ingénieur, et Cyril Bécu, plaisancier. Leur projet, baptisé Bagaille Moon Fou, consiste à concevoir d'abord un bateau de plaisance de 31 m avec une voilure de 300 m² recouverte de panneaux photovoltaïques alimentant un moteur électrique. Leur but, à terme, sera de construire des navires plus gros, type cargos, 100 % autonomes. Un premier essai a déjà été réalisé et réussi sur un char à voile. **F.V.**

TOKYO (JAPON)



Le premier humanoïde doué du sens du toucher

Voici T-HR3, un humanoïde de 1,54 m de hauteur et 75 kg conçu par le japonais Toyota. Sa particularité : il éprouve la sensation du toucher. Pour ce faire, ses deux mains ont été dotées de capteurs ultrasensibles. Contrôlé à distance par un opérateur dont il réplique les mouvements en temps réel, ce robot est aussi capable de manipuler des objets ou de venir au contact d'êtres humains tout en douceur. À terme, il pourrait être utilisé dans les soins à domicile des personnes âgées ou handicapées. **E.T.-A.**

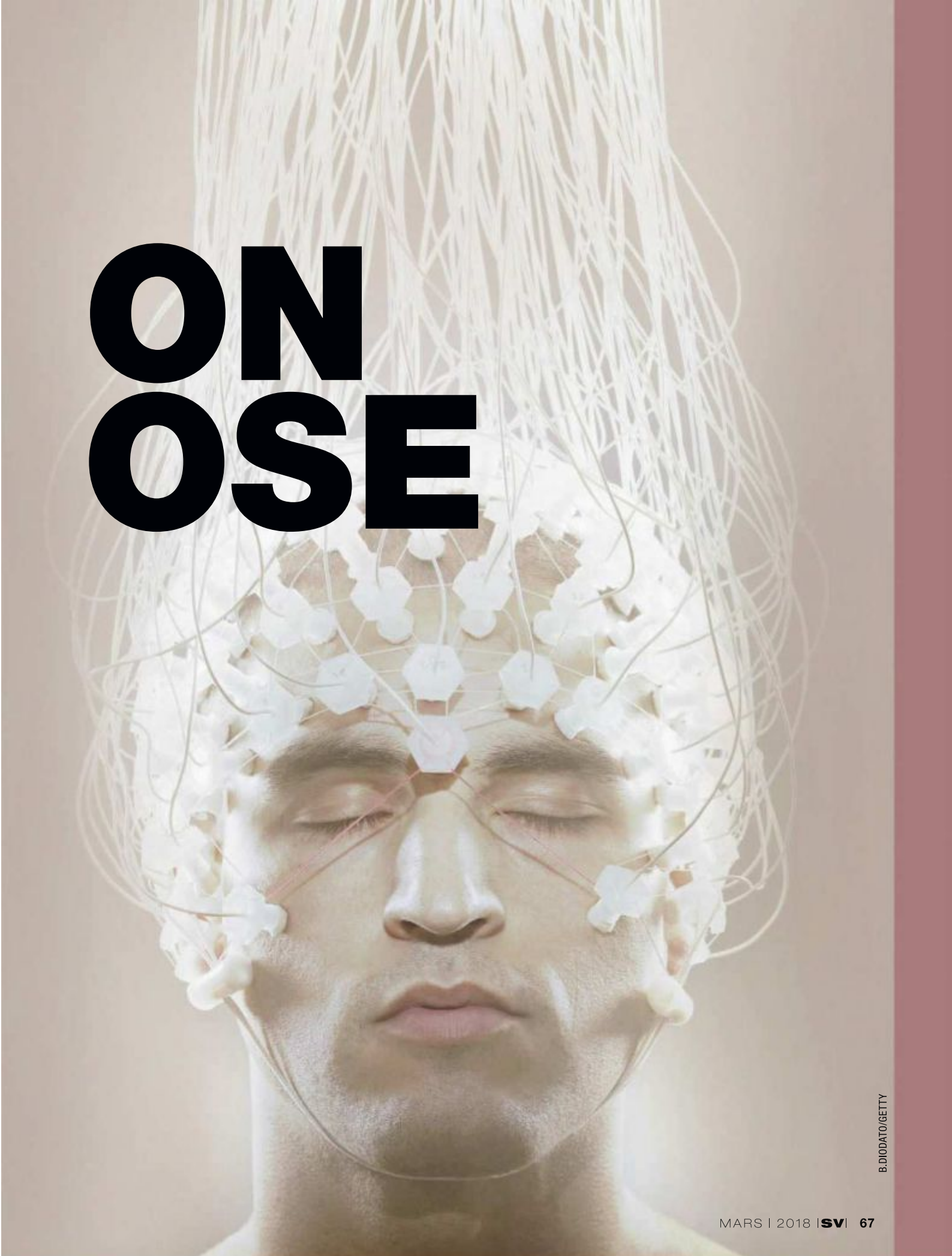
MÉDITATION & HYPNOSE

LES VRAIS EFFETS

Modifier notre état de conscience produit de véritables effets biologiques sur notre état général ! Voici ce qui ressort des travaux qui, depuis peu, démêlent le vrai du faux concernant deux pratiques qui font de plus en plus d'adeptes aujourd'hui. Or, rien de "magique" ici : les dernières techniques d'imagerie ont mis au jour les voies cérébrales de la méditation et de l'hypnose, du cerveau jusqu'aux cellules et même l'ADN. Mieux : on sait à présent pour quels maux l'une et l'autre s'avèrent efficaces… ou pas. De quoi méditer sur les pouvoirs de l'esprit.

PAR THOMAS CAVAILLÉ-FOL ET JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

ON OSE



B.DIODATO/GETTY

MÉDITATION

ELLE AGIT SUR LE CERVEAU, LES CELLULES ET L'ADN !

S'asseoir en tailleur à l'écart de la rumeur du monde. Se concentrer sur sa respiration. Laisser son esprit s'apaiser et sentir qu'on accède peu à peu à un état de conscience aiguë de ses propres émotions, pensées et perceptions, au point de pouvoir les observer de manière détachée, comme un flot s'écoulant hors de soi et atteindre alors un état de sérénité, de bien-être. Avant de revenir au monde, comme régénéré… Ainsi décrite par ceux qui la pratiquent, la méditation a tout d'une expérience personnelle et subjective, à mille lieues des critères objectifs de la démarche scientifique.

Et pourtant ! Chaque jour, 3 ou 4 articles scientifiques paraissent sur le sujet. Le nombre de publications qui en font un objet d'étude a été multiplié par dix en à peine 15 ans. Une passion scientifique qui porte ses fruits : désormais, la science est en mesure de dessiner avec une précision inédite les contours de la méditation, l'un des états de conscience les plus fascinants qui soit.

Ce faisant, les chercheurs lèvent le voile sur l'une des grandes énigmes de la physiologie humaine : le pouvoir de notre esprit sur notre corps ! Car sans lui, comment expliquer que l'état méditatif puisse induire durablement des changements aussi fins que des modifications chimiques de l'ADN, et aussi profonds que le renforcement de certaines zones cérébrales ? Deux résultats fascinants parmi une avalanche d'autres obtenus par la "science de la méditation".

Laquelle repose sur des technologies dernier cri d'imagerie cérébrale et de génomique. Surtout, elle convoque des disciplines aussi pointues et éloignées que la neurobiologie, la biologie cellulaire ou moléculaire.

IMAGERIE DERNIER CRI

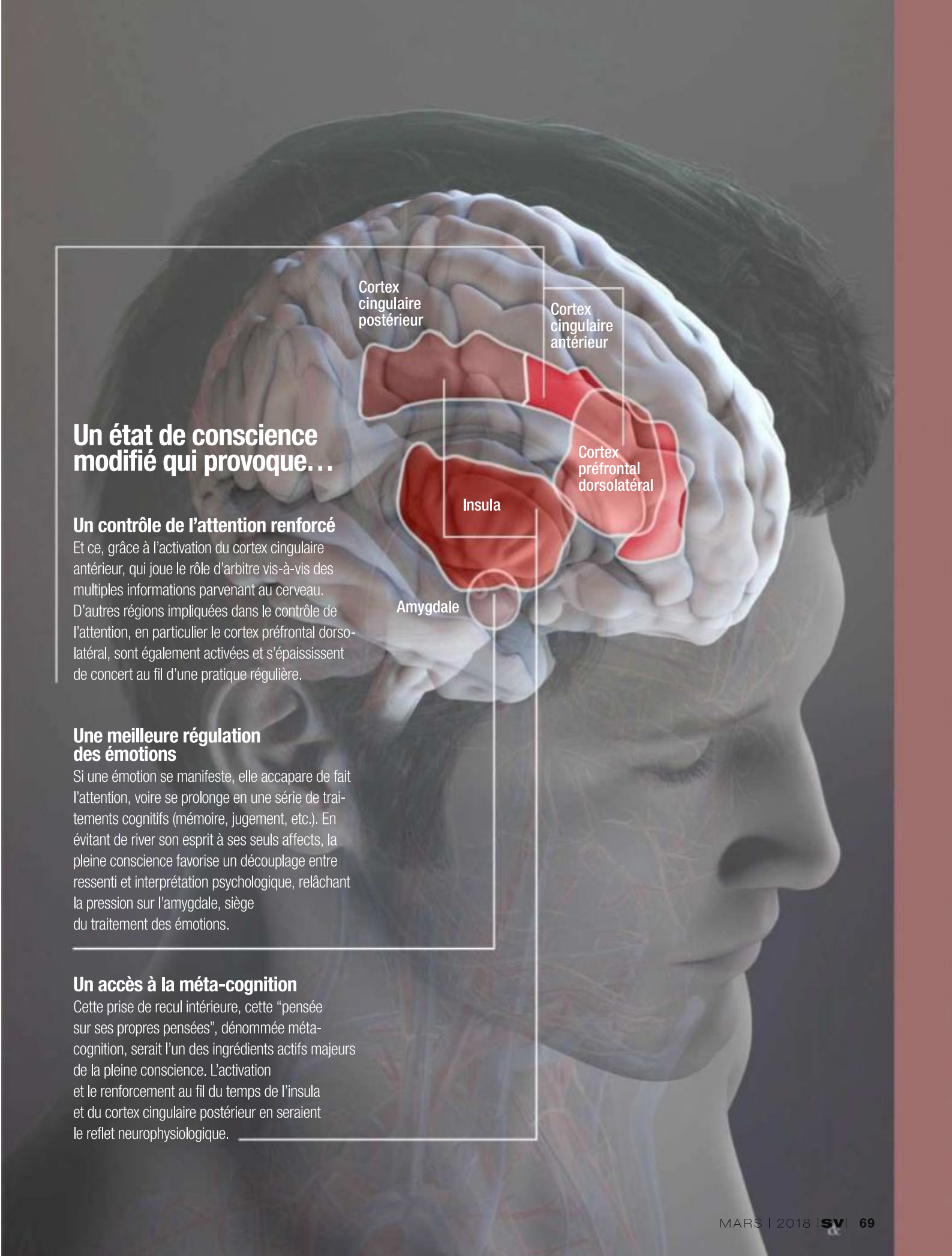
La question captivante de la réalité d'un état méditatif a commencé à attirer les chercheurs dès la fin des années 1970, quand le biologiste américain John-Kabat Zinn importe cette pratique d'inspiration bouddhiste – largement plébiscitée alors par les mouvements new age – dans l'hôpital universitaire du prestigieux Massachusetts Institute of Technology, afin d'aider des patients à relâcher la pression. Le chercheur dépouille la méditation de ses visées religieuses et spirituelles pour n'en garder que le côté pratique. Cette technique laïque, appelée en anglais MBSR – pour réduction du stress par la méditation pleine conscience – est désormais étudiée et employée dans 800 centres hospitaliers de par le monde et fleurit aussi bien dans les entreprises, dans les écoles que dans l'armée.

Au point que la MBSR ferait figure de panacée : dépression, douleur, , troubles du sommeil, addictions… elle guérirait tout, selon ses adeptes.

M.SAEMANN

Trois grandes méthodes pour une pratique

Le mot "méditation" cache un pluriel foisonnant : *"84 000 pratiques différentes selon les Tibétains !"*, rappelle Antoine Lutz. Mais on peut tout de même les classer en trois grandes familles. **La méditation par attention focalisée** a pour but d'apaiser l'esprit et d'accéder à un état de surveillance de ses propres émotions. Elle peut être une étape vers **la méditation de pleine conscience.** Celle-ci ne cherche pas à focaliser l'attention, mais à l'ouvrir, sans jugement, à toutes les manifestations du présent. C'est elle qui est principalement étudiée par les scientifiques. Elle favorise l'égalité d'humeur, qualité jugée indispensable pour pratiquer le troisième type de méditation : **la voie de la compassion,** qui cherche à étendre à autrui les sentiments de bonté, d'empathie et d'amour.



Un état de conscience modifié qui provoque…

Un contrôle de l'attention renforcé

Et ce, grâce à l'activation du cortex cingulaire antérieur, qui joue le rôle d'arbitre vis-à-vis des multiples informations parvenant au cerveau. D'autres régions impliquées dans le contrôle de l'attention, en particulier le cortex préfrontal dorsolatéral, sont également activées et s'épaississent de concert au fil d'une pratique régulière.

Une meilleure régulation des émotions

Si une émotion se manifeste, elle accapare de fait l'attention, voire se prolonge en une série de traitements cognitifs (mémoire, jugement, etc.). En évitant de river son esprit à ses seuls affects, la pleine conscience favorise un découplage entre ressenti et interprétation psychologique, relâchant la pression sur l'amygdale, siège du traitement des émotions.

Un accès à la méta-cognition

Cette prise de recul intérieure, cette "pensée sur ses propres pensées", dénommée méta-cognition, serait l'un des ingrédients actifs majeurs de la pleine conscience. L'activation et le renforcement au fil du temps de l'insula et du cortex cingulaire postérieur en seraient le reflet neurophysiologique.

Pour faire la part de l'engouement démesuré, la science de la méditation cherche à confronter expérience subjective et observations objectives réalisées en laboratoire. Dès les années 1980, le Dalaï-lama en personne a favorisé un tel rapprochement, en collaboration avec le neuroscientifique et philosophe chilien Francisco Varela.

Mais en quoi consiste au juste la méditation ? Première difficulté, *"le terme cache une grande famille de méthodes complexes de régulation des émotions et de l'attention, mises en œuvre à des fins variées"*, explique Antoine Lutz, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon. Les scientifiques classent ces pratiques en trois grands groupes : l'attention focalisée, la méditation compassionnelle et la pleine conscience (voir encadré). Cette dernière, qui est au cœur de la méthode MBSR, est de loin la plus étudiée aujourd'hui par la science.

Assis sur une chaise ou en tailleur, les novices débutent généralement au sein d'un groupe guidé par un instructeur. Le but de la pleine conscience : développer une attention accrue à soi et au monde en acceptant, sans jugement a priori, toutes les manifestations du présent, même les plus intempestives. Antoine Lutz n'hésite pas à la comparer au surf, *"où l'on glisse sur les vagues en épousant leurs mouvements spontanés"*, les vagues symbolisant ici le flot des phénomènes perceptibles, intérieurs comme extérieurs. À la différence de l'hypnose et de l'autohypnose (voir p. 74 à 77), où le champ attentionnel se focalise sur des pensées suggestives tel un mantra, la pleine conscience s'ouvre à tout ce qui vient.

> *L'effet le plus frappant au niveau cellulaire est la baisse des marqueurs du stress et de l'inflammation*



PERLA **KALIMAN**
Biologiste à l'Université de Californie (Davis)

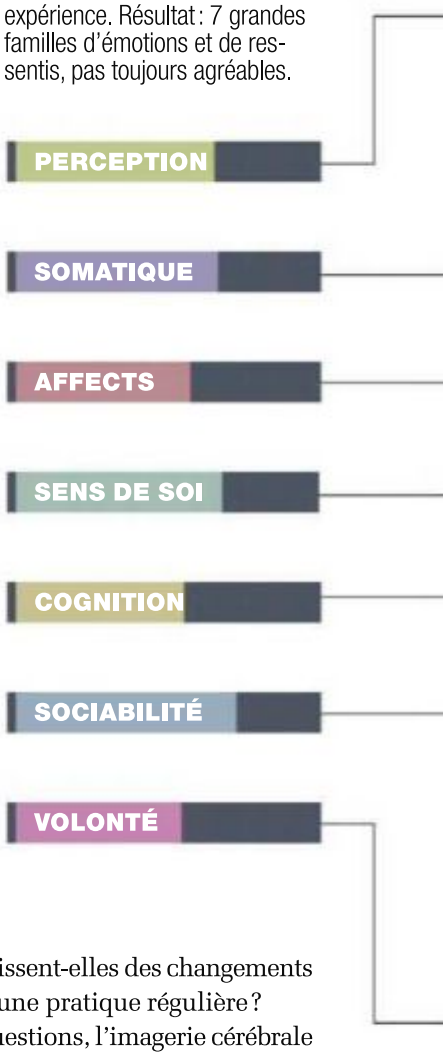
Quels effets, dès lors, la pleine conscience produit-elle chez ceux qui la pratiquent régulièrement ? Se limitent-ils aux instants passés à pratiquer ou se prolongent-ils bien au-delà ? Les psychologues ont cherché à sonder l'état mental des méditants à différents moments de leur pratique et de leur vie. Mais ces résultats issus de questionnaires remplis par les participants demeurent incertains : *"Les effets comportementaux et psychologiques sont difficiles à caractériser car ils reposent sur des évaluations subjectives"*, souligne le neuroscientifique sino-américain Yi-Yuan Tang.

Plutôt que de chercher à décrire des états psychologiques induits par la méditation, et afin d'évaluer de manière plus objective cet état de conscience modifié, les neuroscientifiques comme Yi-Yuan Tang ou Antoine Lutz ont pris le relais, s'appuyant sur un allié de poids : l'imagerie cérébrale. Des régions du cerveau s'activent-elles plus que d'autres lorsqu'on rentre en pleine conscience ? D'autres réduisent-elles leur activité ? Ces régions subissent-elles des changements du fait d'une pratique régulière ?

À ces questions, l'imagerie cérébrale a apporté des réponses étonnantes : *"Trois effets neurologiques majeurs semblent spécifiques à la pleine conscience,* affirme Yi-Yuan Tang. *Elle agit sur les zones cérébrales liées au contrôle de l'attention, sur celles de la régulation des émotions et sur la métacognition – le processus mental lié aux pensées que l'on a sur ses propres pensées."* Réanalysant plus d'une centaine d'études publiées ces dernières années sur le sujet, le chercheur californien Kieran Fox confirme ces

Le "méditant" s'ouvre à toutes sortes d'émotions

Les chercheurs de l'Université de Brown (États-Unis) ont demandé aux méditants de décrire leur expérience. Résultat : 7 grandes familles d'émotions et de ressentis, pas toujours agréables.



DR - B.BELLANGER - Y.DIRAISON

découvertes : *“Même si les effets sont modestes, il y a bien une série d’activations spécifiques à la méditation de pleine conscience.”* On y trouve pêle-mêle le cortex préfrontal, l’insula, le cortex cingulaire antérieur… (voir ci-dessus).

PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

“L’insula par exemple joue un rôle primordial dans l’intéroception, soit la conscience de l’état interne de son propre corps, comme les battements du cœur ou la respiration, précise Antoine Lutz. *On retrouve aussi des régions du cortex préfrontal, ou du cortex cingulaire antérieur impliquées dans le contrôle de l’attention.”*

Des études conduites par Antoine Lutz sur la perception de la douleur ont aussi permis de mettre en lumière l’un des effets majeurs de la pleine conscience: *“Il semble que les changements neurophysiologiques dans certaines de ces régions favorisent un découplage entre les émotions et leur résonance psychologique.”*

Des effets neurophysiologiques qui semblent, de plus, s’ancrer durablement dans le cerveau au fil des ans: *“De la même manière que vous musclez votre corps avec une pratique sportive régulière,* explique Yi-Yuan Tang, *la méditation muscle votre cerveau.”* On parle alors de plasticité cérébrale. Un mécanisme important, aussi bien chez l’enfant que chez l’adulte, permettant à notre cerveau de s’adapter tout au long de notre vie aux situations que nous rencontrons.

Une pratique régulière de la méditation de pleine conscience semble donc renforcer la plasticité des régions impliquées dans le contrôle de l’attention et la régulation des émotions. Avec le temps, celles-ci

présentent dès lors une densité plus grande de neurones et de connexions neuronales, autrement dit un accroissement à la fois de la matière grise et de la matière blanche. C'est ce que révèlent plusieurs dizaines d'études sur le sujet revues et synthétisées par Kieran Fox. Par quel mécanisme neurophysiologique ? *"On ne sait pas encore exactement comment cela se produit",* regrette toutefois Yi-Yuan Tang.

Mais les effets de la pleine conscience se font sentir bien au-delà du cerveau, signe éloquent de l'interaction profonde entre le corps et l'esprit. Le neuroscientifique Clifford Saron, professeur à l'Université de Californie, a été l'un des premiers à mettre en évidence l'influence de la méditation sur la longévité des cellules. Son équipe a évalué l'effet d'une retraite intensive de 3 mois sur une enzyme primordiale à la bonne tenue de notre matériel génétique : la télomérase – qui assure la maintenance des télomères, les extrémités de nos chromosomes, érodées par la division cellulaire. Plus l'enzyme est active, plus la cellule se divisera de nombreuses fois avant que le raccourcissement des télomères n'atteigne un stade induisant la mort cellulaire.

Or, chez les personnes de retour de retraite méditante, l'activité de cette enzyme bondit de 30 % ! *"Nous avons également démontré que chez ces personnes, la taille des télomères était plus élevée que chez celles n'ayant pas médité, confirmant le lien entre accroissement du taux de télémorase et préservation des télomères",* explique Clifford Saron. Ce phénomène a été observé indépendamment par une équipe de scientifiques espagnols chez des adeptes de la méditation zen.

Par quel mécanisme le simple fait "d'ouvrir son esprit" peut-il agir sur une entité aussi éloignée et "inconsciente" qu'une enzyme cellulaire ? Pour la biologiste Perla Kaliman, spécialiste de l'influence des facteurs environnementaux sur le métabolisme cellulaire, *"tout ceci est cohérent avec le fait que des stress importants réduisent l'activité de la télomérase. Or, on sait de longue date que la pleine conscience réduit le stress."*



> *Attention à l'emballement ! Chaque nouveau résultat obtenu suscite une exagération médiatique.*
>
> ANTOINE **LUTZ**
> Chercheur en neurosciences cognitives au CNRL (Lyon)

Le stress est en effet connu pour agir comme un trait d'union entre le corps et l'environnement. Il peut le stimuler positivement, par exemple en favorisant la réponse musculaire et l'oxygénation du cerveau face à une situation dangereuse. Mais il peut se révéler toxique lorsqu'il devient chronique et se double de troubles anxieux. Cette voie du stress est donc à double tranchant. La méditation de pleine conscience semble toutefois favoriser le côté le plus bénéfique – de la même manière qu'une meilleure hygiène de vie ou la pratique régulière d'activité physique est connue pour réduire l'intensité du stress sur l'organisme.

Sur le plan biologique, la voie du stress module des *"fenêtres de plasticité",* selon l'expression du neuroscientifique Bruce McEwen, aussi bien au niveau cérébral qu'au niveau cellulaire. Depuis des décennies, les scientifiques comme Bruce McEwen, en lien avec l'étude des troubles anxieux et dépressifs, ont permis de mieux en comprendre le fonctionnement : *"Leurs travaux nous aident à orienter nos recherches,* reconnaît Antoine Lutz. *L'axe hypothalamo-hypophyso-surrélanien (HPS), impliqué dans la régulation du stress, est ainsi un candidat sérieux à l'influence de la méditation sur le corps."* (voir infographie)

UN JOUR DE MÉDITATION SUFFIT

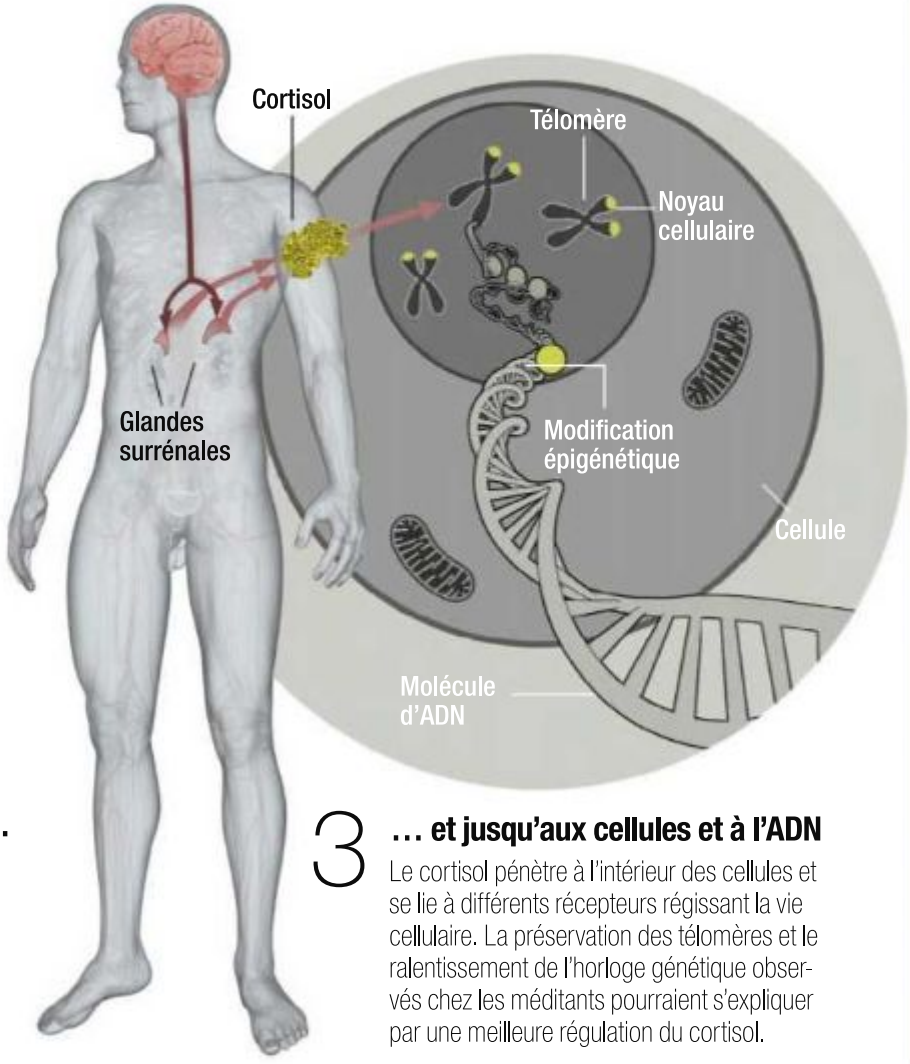
Même si la science de la méditation peine à obtenir une vue globale de ces mécanismes, des observations cellulaires et physiologiques semblent confirmer cette hypothèse. *"L'effet le plus frappant au niveau cellulaire est la baisse des marqueurs du stress et de l'inflammation",* confirme ainsi Perla Kaliman. Une seule journée de méditation suffirait même à induire un début de réponse : *"Après 8 heures de méditation,* explique la chercheuse, *nous avons observé un changement du niveau d'expression de gènes liés à la régulation des modifications épigénétiques."*

Ces modifications épigénétiques correspondent en fait à des changements chimiques et structurels de l'ADN influençant l'expression des gènes dans les cellules. Cet "effet épigénétique" serait ainsi la traduction cellulaire de la "fenêtre de plasticité" évoquée plus haut. Une fenêtre qui pourrait s'ouvrir sur de nombreux effets positifs, à commencer par le ralentissement de l'horloge interne des cellules.

C'est ce que viennent d'observer Perla Kaliman, Antoine Lutz et Raphaëlle Chaix, généticienne au

Les voies biologiques de la méditation expliquées en 3 étapes

La voie du stress. C'est l'une des pistes principales pour expliquer la diffusion dans le corps des effets biologiques de la méditation de pleine conscience. Comment ? Un meilleur contrôle des émotions et de l'attention pourrait jouer un rôle de modérateur des rouages neurophysiologiques du stress.



1 À partir du cerveau…

L'amygdale et l'hippocampe, "musclés" par la méditation, atténueraient l'écho émotionnel des situations de stress. L'hypothalamus, lié à ces deux régions, contrôlerait alors mieux la sécrétion de certaines hormones liées au stress.

2 … via les glandes surrénales…

Les hormones sécrétées par le cerveau en réaction au stress perçu stimulent à leur tour la production de cortisol par les glandes surrénales. Cette hormone du stress se diffuse dans l'organisme via le réseau sanguin.

3 … et jusqu'aux cellules et à l'ADN

Le cortisol pénètre à l'intérieur des cellules et se lie à différents récepteurs régissant la vie cellulaire. La préservation des télomères et le ralentissement de l'horloge génétique observés chez les méditants pourraient s'expliquer par une meilleure régulation du cortisol.

J.FAURE/LEEMAGE - M.SAEMANN

CNRS : "*Au cours de la vie, certaines de nos marques épigénétiques évoluent, c'est "l'horloge épigénétique". Les individus chez qui le tic-tac de l'horloge va plus vite sont plus exposés aux maladies chroniques. Plusieurs études ont montré que le stress avait tendance à accélérer cette horloge",* explique Raphaëlle Chaix.

L'HORLOGE ÉPIGÉNÉTIQUE RALENTIE

Au sein du projet EpiMed, ces chercheurs ont comparé les horloges épigénétiques de méditants experts et de personnes non pratiquantes : *"Dans notre étude pilote, poursuit Raphaëlle Chaix, nous avons vu que plus les méditants ont pratiqué durant de nombreuses années, plus leur horloge épigénétique est ralentie."*

Signe que la science de la méditation réserve encore des surprises. *"Mais attention à l'emballement,* tempère Antoine Lutz. *La discipline est jeune et nombre de chercheurs sont désemparés face à l'exagération médiatique que suscite chaque nouveau résultat. De nombreuses études souffrent encore de problèmes de méthode et de biais de publication."*

Ainsi, le pont physiologique entre l'esprit et le corps reste en grande partie inconnu. La description précise des états de conscience traversés par les "méditants" pourrait aider à combler le fossé, à l'image de l'étude conduite récemment par une équipe américaine de l'Université de Braw (cf. ci-contre) : *"Dans la continuité de cette étude, il est aussi important de mieux évaluer les effets secondaires, qui demeurent encore largement sous-évalués",* précise Antoine Lutz.

Toutes ces réserves ont récemment fait l'objet d'une revue critique cosigné par 15 chercheurs de premier rang, dont Clifford Saron et Kieran Fox, appelant à user de sagesse et d'objectivé dans l'interprétation des études en science de la méditation. En particulier lorsqu'il s'agit d'évaluer ses bienfaits en tant que médecine complémentaire (voir aussi p. 78 à 83). Prendre du recul, recueillir chaque observation sans jugement partisan : voilà ce qui permet d'éclairer la médiation sous un jour nouveau, de révéler ses bases biologiques à l'engouement sans précédent d'un mystère insondable. **J.-B.V.**

HYPNOSE

ELLE TRANSFORME L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE ET LES PERCEPTIONS

Un simple tour de passe-passe destiné à époustoufler les spectateurs en quête d'exceptionnel ? Une méthode ésotérique qui ne marche – si jamais elle marche vraiment – que sur les esprits faibles ? En réalité, cette méthode bien plus que centenaire a des effets objectifs sur notre cerveau. On en est désormais certain. Plusieurs publications très récentes ont permis d'éclairer les coulisses du cerveau plongé en état d'hypnose. Et il apparaît plus clairement que jamais que cet état hypnotique ne ressemble à aucun autre : ni à l'éveil, ni au sommeil et pas plus à la méditation.

Lorsque l'on demande une définition de l'hypnose à Marie-Elisabeth Faymonville, chef du service d'algologie et du Centre de la douleur du CHU de Liège en Belgique, pionnière dans l'utilisation de l'hypnose en hôpital, elle répond : *"Il s'agit d'un processus d'immersion dans un état de conscience différent, où le jugement, la perception et la notion du temps peuvent être modifiés."*

Mais comment, concrètement, parvient-on à cet état de conscience modifié ? *"En suivant deux étapes,* précise Jean-Marc Benhaiem, praticien hospitalier et responsable du Diplôme universitaire d'hypnose médicale au CHU Pitié-Salpêtrière de Paris. *Lors de l'induction, on commence avec une phase de relaxation tout en provoquant une confusion chez le patient, qui lui permet d'abandonner les certitudes intellectuelles et leur rigidité."* Par exemple avec une phrase alambiquée, qui peut avoir un sens ou pas, telle que "le corps est à droite du bras gauche et à gauche du bras droit".

M.SAEMANN

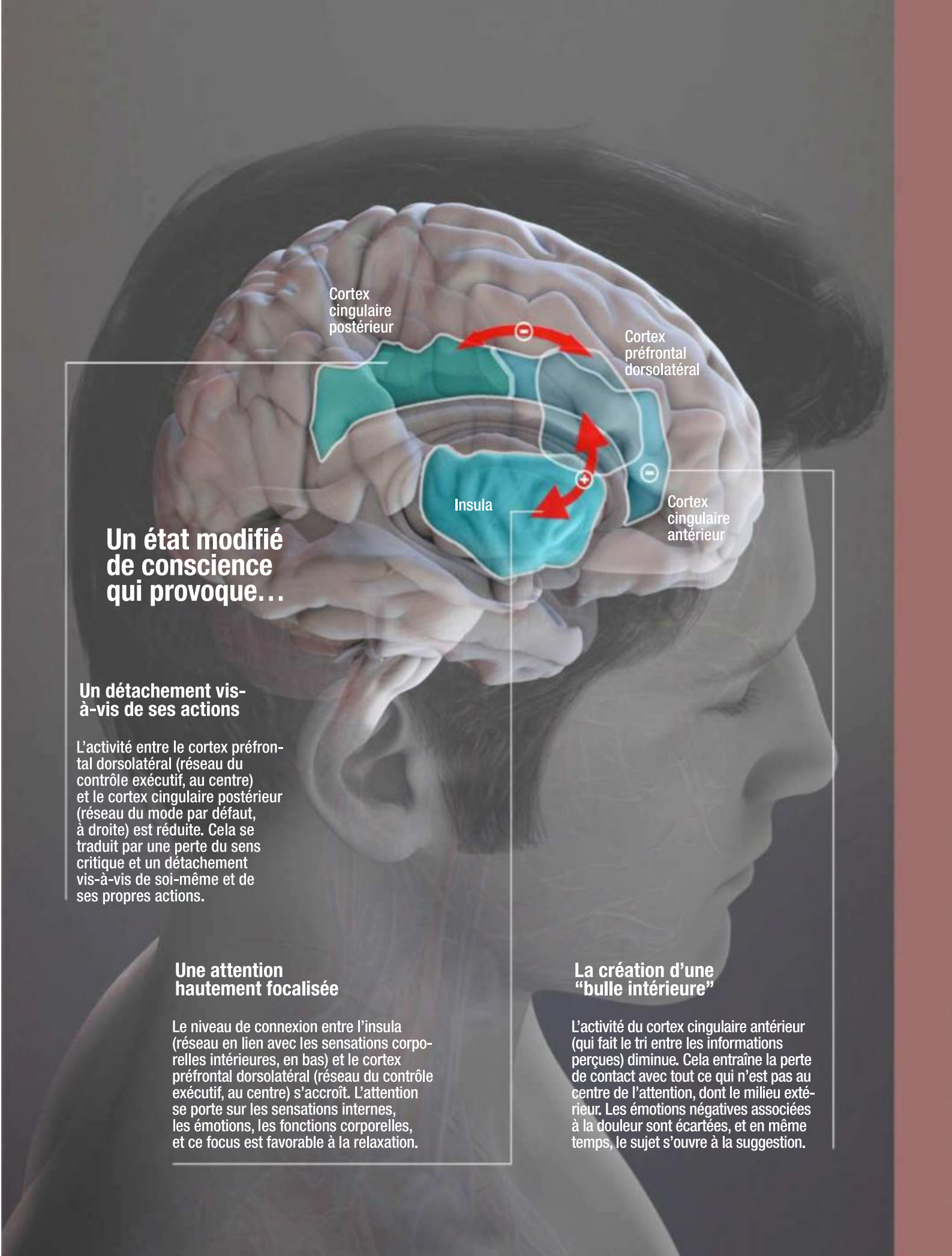
LE SELF-CONTROL DÉSACTIVÉ

Tandis que le conscient est occupé à comprendre cette phrase, il se crée *"une phase de dissociation entre l'inconscient et le conscient et entre le milieu extérieur et le corps lui-même. Le self-control est, pour ainsi dire, désactivé",* poursuit le chercheur. Et la transe hypnotique commence. Selon les travaux du professeur de psychiatrie Martin Orne, le patient revient spontanément à l'état naturel de conscience en 10 à 15 minutes environ. Les praticiens doivent donc régulièrement faire des "rappels" pour prolonger la transe lors des séances d'hypnose, qui durent entre 30 minutes et 1 heure 30 environ.

En pratique, cette hypnose pratiquée en hôpital n'est pas aussi suggestive que celle des grands shows donnés par des hypnotiseurs devant un large public. *"L'hypnothérapeute ne donne pas d'ordre,* reprend Jean-Marc Benhaiem *c'est un accompagnateur qui, par le choix des mots et la conversation, amène le patient à élargir sa perception et à l'ouvrir aux*

Les différents types d'hypnose

Depuis son apparition au XVIIIe siècle avec Mesmer, non pas le célèbre "magnétiseur" d'aujourd'hui, mais un médecin viennois installé à Paris qui, pour traiter ses patients, cherchait à provoquer chez eux des "crises", différents types d'hypnose ont été développés. On peut distinguer **l'hypnose directe,** où le thérapeute adopte une posture autoritaire, ou encore **l'autohypnose,** qui permet de se conduire soi-même dans cet état de transe. Mais la majorité des hypnothérapeutes pratiquent aujourd'hui des méthodes influencées par **l'hypnose ericksonienne,** du nom du psychiatre américain Milton Erickson, dans laquelle le patient, centre de l'attention et acteur de sa guérison, n'est pas dirigé mais accompagné. Ce qui distingue radicalement cette pratique de **l'hypnose de spectacle,** où l'hypnotiseur impose sa volonté.



Un état modifié de conscience qui provoque…

Un détachement vis-à-vis de ses actions

L'activité entre le cortex préfrontal dorsolatéral (réseau du contrôle exécutif, au centre) et le cortex cingulaire postérieur (réseau du mode par défaut, à droite) est réduite. Cela se traduit par une perte du sens critique et un détachement vis-à-vis de soi-même et de ses propres actions.

Une attention hautement focalisée

Le niveau de connexion entre l'insula (réseau en lien avec les sensations corporelles intérieures, en bas) et le cortex préfrontal dorsolatéral (réseau du contrôle exécutif, au centre) s'accroît. L'attention se porte sur les sensations internes, les émotions, les fonctions corporelles, et ce focus est favorable à la relaxation.

La création d'une "bulle intérieure"

L'activité du cortex cingulaire antérieur (qui fait le tri entre les informations perçues) diminue. Cela entraîne la perte de contact avec tout ce qui n'est pas au centre de l'attention, dont le milieu extérieur. Les émotions négatives associées à la douleur sont écartées, et en même temps, le sujet s'ouvre à la suggestion.

problèmes et solutions dont il est intérieurement déjà conscient."

Mais derrière ces mots précis qui décrivent des sensations somme toute très personnelles, existe-t-il des effets réellement mesurables, reproductibles et quantifiables ? Depuis peu, on sait que la réponse est oui.

"Alors que l'hypnose est pratiquée depuis des décennies en psychiatrie ou en hôpital, sa portée neurologique n'a, elle, été découverte que ces dernières années", souligne Steven Laureys, professeur de neurologie à l'université de Liège en Belgique. Et notamment grâce à une étude publiée en 2016 par des chercheurs américains, qui a mis en valeur trois changements majeurs du cerveau sous hypnose.

Il se crée lors de l'hypnose une dissociation entre conscient et inconscient, entre le milieu extérieur et le corps lui-même



JEAN-MARC **BENHAIEM**
Praticien d'hypnose médicale au CHU Pitié-Salpêtrière (Paris)

Pour ce faire, l'équipe a tout d'abord sélectionné 56 participants considérés comme hautement ou, au contraire, faiblement hypnotisables, puis comparé leur activité cérébrale à l'aide d'examens d'IRM fonctionnelle lors de quatre états différents : au repos, pendant une phase éveillée de souvenirs, sous hypnose en se remémorant des vacances sans émotion particulière, et sous hypnose en se remémorant un moment particulièrement agréable. Et les résultats sont révélateurs !

Ils ont d'abord constaté une diminution de l'activité dans le cortex cingulaire antérieur dorsal, signant, selon Steven Laureys *"le moment de la perte de contact avec l'extérieur, la création d'une bulle, et en même temps l'ouverture à la suggestion".* A aussi été mesurée une augmentation des connexions vers des structures qui jouent un rôle important dans le contrôle corporel ou dans les processus d'émotion, d'empathie et de temporalité. *"Et en effet, on s'aperçoit que l'attention sous hypnose se porte fortement sur les sensations internes",* commente Steven Laureys.

Enfin, les IRM ont révélé une réduction de la connectivité entre le réseau du contrôle exécutif. C'est probablement là que repose la caractéristique la plus inhérente à l'hypnose, qui la différencie totalement d'autres états de conscience altérés comme la méditation : le détachement vis-à-vis de soi-même et de ses pensées et actions, la perte de l'esprit critique et même, dans certains cas, l'amnésie.

"L'état hypnotique correspond à une attention hautement focalisée, avec une sensibilité périphérique réduite, résume David Spiegel, responsable de cette étude. *On se préoccupe moins de porter attention à autre chose que ce qui est au centre de notre attention."*

Et cet état peut amener l'hypnotisé à réaliser des prouesses intellectuelles, pour peu qu'il soit correctement guidé. L'équipe de Marie-Élisabeth Faymonville a par exemple comparé le débit sanguin des différentes zones cérébrales chez des patients amenés à se souvenir d'un moment particulier à l'état d'éveil, puis sous hypnose. Résultat ? *"Sous hypnose, les individus présentent une stimulation cérébrale plus élevée,* assure la chercheuse. *Ils activent leurs régions occipitales, siège de la vue, comme s'ils voyaient vraiment, mais aussi leurs régions pariétales, comme s'ils ressentaient vraiment, ainsi que la région précentrale comme s'ils bougeaient vraiment. Tout cela en restant couché les yeux fermés ! De plus, ils ont l'impression de revivre ce moment, et non pas de s'en souvenir."*

CE N'EST PAS L'HYPNOTISEUR MAIS L'INDIVIDU QUI A LE POUVOIR

Voilà le véritable "truc" de l'hypnose ! Elle booste notre capacité d'attention à l'objet central de nos pensées. Et contrairement à un tour de cartes, il n'est pas décevant d'en être conscient, bien au contraire. *"Nous avons tendance à penser que c'est l'hypnotiseur qui a le pouvoir, mais il n'en est rien : c'est l'individu,* insiste Jean-Marc Benhaiem. *Nous sommes tous influençables : songez aux jeux, à la publicité, ou encore aux addictions. Toutes ces choses agissent sur nous de manière hypnotique, il nous faut prendre conscience de cette fragilité pour l'élargir en faculté."* L'hypnose, loin d'être magique, est totalement humaine.

Pour autant, *"si le champ d'action de l'hypnose est potentiellement immense, ce n'est pas non plus un remède miracle ! Il s'agit d'un complément qui devrait seulement être pratiqué par les professionnels de la santé, et ce dans leur domaine d'expertise",* avertit Steven Laureys.

Autrement dit, ne nous laissons pas hypnotiser par l'hypnose ! **T.C.-F.**



L'imagerie cérébrale a permis de dévoiler les mécanismes mis en jeu lorsqu'un patient est sous hypnose.

H.BENHAIEM - H.RAGUET/BSIP

Les "rêves lucides", l'autre état de conscience modifié

Ce n'est ni de l'hypnose, ni de la médiation. La pratique des "rêves lucides" permet au dormeur de prendre conscience de son état de rêveur, et de contrôler ses actions, voire d'influencer son environnement onirique. Cet état hybride entre sommeil et veille commence à intéresser les scientifiques. En étudiant des rêveurs lucides sous IRM et électro-encéphalogramme, des chercheurs des universités de Francfort et Munich ont montré que, par rapport à l'état de sommeil, les lucides réactivaient les zones frontales de leur cerveau, siège de la mémoire de travail et de l'attention, de la conscience de soi et de la volonté, ainsi que des zones pariétales et occipitales. En donnant quelques instructions précises à 47 volontaires, des chercheurs australiens ont appris en deux semaines à la moitié d'entre eux à s'adonner aux rêves lucides. Le secret ? Pratiquer régulièrement à l'état d'éveil des tests de réalité, comme tenter d'aspirer de l'air avec le nez bouché et la bouche fermée, afin de reproduire machinalement ce geste en dormant. Or le rêveur arrivera à respirer malgré sa bouche fermée, et sera donc prévenu de son état endormi ! Se réveiller 5 heures après l'endormissement et se répéter qu'à la venue du prochain rêve, on aura conscience de son état de rêveur faciliterait aussi l'accès aux rêves lucides. Enfin, il serait bon de garder son calme, pour ne pas se réveiller trop vite. Certains voient déjà là l'occasion de lutter contre l'anxiété ou les troubles du sommeil.

Méditation, hypnose

QUELLE EFFICACITÉ POUR LA SANTÉ ?

Guérir par la pensée… Promesse sérieuse ou pensée magique ? Observer les effets physiologiques bien réels de la méditation ou de l'hypnose est une chose (voir p. 68 à 74). Traduire ces effets en traitement thérapeutique en est une autre. D'autant plus que l'incertitude règne : *"Il nous manque un cadre méthodologique et théorique solide pour étudier et valider ces effets physiologiques"*, reconnaît, à propos de la méditation, le neuroscientifique Antoine Lutz. Une incertitude dont la médecine s'accommode mal. Car qui dit thérapie dit efficacité dûment prouvée suivant des règles d'évaluation strictes, comme c'est le cas lors des essais cliniques. Sachant que les plus exigeants, qui garantissent la meilleure démonstration d'effets ou d'absence d'effets, sont ceux dit "randomisés en double aveugle avec contrôle actif". Le principe ? Les participants sont répartis aléatoirement – "randomisés" – en deux groupes : l'un reçoit le traitement à évaluer, l'autre – le "contrôle actif" – un placebo (par exemple un comprimé sans aucune substance active). Ni les participants ni les médecins chargés d'évaluer la réussite du traitement ne connaissent la vérité – c'est le principe du "double aveugle".

Mais comment mesurer l'efficacité des thérapies des tenants de l'approche corps-esprit ? Difficile d'imaginer à quoi ressemble une "session placebo" de méditation ou d'hypnose… Dans la plupart des essais, l'alternative consiste à remplacer le placebo par un traitement de référence du trouble. Par exemple, la pleine conscience a été comparée à la prise d'antidépresseurs dans le cas de la dépression.

UNE APPROCHE ALTERNATIVE

Résultat ? *"Des études de qualité démontrent que ces approches peuvent trouver une place complémentaire dans un parcours de soins bien spécifique"*, affirme le pédopsychiatre et biostatisticien Bruno Falissard qui, à la demande de l'Inserm, a coordonné en 2014 une expertise scientifique sur plusieurs médecines alternatives.

Mais ces études peinent à trouver grâce aux yeux des tenants de la médecine fondée sur les preuves. La marche semble encore haute, d'autant plus que les essais sont coûteux et difficiles à faire financer pour des thérapies non adossées à des laboratoires pharmaceutiques. Selon la néphrologue Corinne Isnard Bagnis, qui teste depuis 2012, à la Pitié-Salpêtrière (Paris), des approches basées sur la pleine conscience, *"il faut développer des essais qualitatifs afin de mieux décrire le vécu des patients et prendre en compte l'amélioration globale de leur qualité de vie."* Une démarche où l'état psychologique compte autant que l'état physiologique, et qui pourrait s'imposer à terme dans les protocoles d'évaluation des médicaments. Une chose est sûre : le lien entre le corps et l'esprit n'a pas fini d'interroger les cliniciens. **J.-B.V.**



Addictions

Méditation

Une aide contre l'addiction au tabac, à l'alcool, aux opiacés

Le programme More, basé sur la pleine conscience et la thérapie cognitive, vise à combattre la dépendance à l'alcool, au tabac, aux opiacés ou à la cocaïne. Ses effets ont été évalués par des dizaines d'études cliniques. Bien que ces évaluations souffrent d'un faible échantillonnage ou d'un manque d'adhérence aux bonnes pratiques des essais cliniques, elles convergent vers la même conclusion : au bout de 3 à 12 mois, l'abstinence est au rendez-vous, dans des proportions comparables aux traitements de référence. La raison ? La réduction du stress et un détachement accru des pensées



Ce studio de méditation new-yorkais propose notamment des cours centrés sur la fatigue.

KHOLOOD EID/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

obsessionnelles relativiseraient l'urgence d'un soulagement, réduisant l'envie de "replonger".

Hypnose

Pas de miracle contre le tabac!

Un rapport de l'Inserm de 2015 conclut que pour le taux de sevrage à 6 mois, l'hypnose n'est ni moins ni plus efficace qu'une autre intervention thérapeutique. Le succès des séances d'hypnose semble dépendre de la motivation de chaque participant, qui fluctue dans le temps de sevrage, pointe une publication de 2016. En complément d'une thérapie personnalisée, l'hypnose pourrait se révéler efficace par sa capacité à couper le patient de l'extérieur et le recentrer sur ses besoins corporels.

Troubles du sommeil

Méditation

Efficace contre l'insomnie chronique

Chez ceux qui souffrent d'insomnie chronique, plusieurs études ont montré que pour la combattre, la pleine conscience se révèle tout aussi efficace qu'une thérapie cognitive – le traitement de référence. Après quelques semaines, les participants montrent une nette réduction des périodes éveillées et une meilleure qualité de sommeil. Et ce, pour des personnes en bonne santé comme pour celles souffrant de maladies chroniques. Cet effet reposerait sur l'hypothèse que la pleine conscience, en facilitant la "déconnexion", contrerait rumination et sur-éveil cognitif, tous deux très liés à ce trouble entêtant du sommeil. Les cliniciens invitent à reproduire plus largement ces études et s'interrogent sur le "bon dosage" à recommander en fonction de chaque patient.

Hypnose

Des preuves fragiles sur l'amélioration de la qualité du sommeil

Malgré les promesses des experts, les recherches menées à ce jour n'offrent pas de conclusions solides quant au potentiel de l'hypnose sur les troubles du sommeil. Si, dans une étude datée de 2006 sur 71 enfants souffrant d'insomnie, elle a permis de réduire le temps d'endormissement de 90 % d'entre eux et supprimé les réveils nocturnes chez 50 % des 21 qui en souffraient, l'hypnose n'a été comparée à aucune autre thérapie et pourrait donc ne pas être plus efficace qu'une simple écoute. Notons tout de même que, dans le cas de l'hypnothérapie appliquée aux bouffées de chaleur des femmes récemment ménopausées, l'un des effets secondaires était bien une nette amélioration de la qualité du sommeil.



Douleur

Méditation

Des résultats encourageants sur les douleurs chroniques

Migraines, maux de ventre, douleurs articulaires… La pleine conscience est envisagée comme analgésique alternatif ou complémentaire. Mais seule une poignée des évaluations se conforment *a minima* aux canons des essais cliniques (randomisation, taille des échantillons, contrôles actifs, etc.), si bien que les cliniciens invitent à ne pas tirer de conclusion hâtive. Seule certitude : les résultats, encourageants, méritent d'être évalués avec plus de rigueur. La méditation, notamment dans le cadre du programme MBSR, permettrait de découpler la douleur ressentie de la souffrance vécue en "décrispant" l'attention des zones douloureuses. Des éléments neurophysiologiques semblent en effet l'attester (voir p. 73) ainsi que des dizaines d'études médicales.

Hypnose

Une efficacité solide contre les douleurs aiguës

En complément d'une anesthésie locale, l'hypnose est utilisée depuis les années 1990 pour les interventions médicales non profondes, comme les opérations de la thyroïde et même certains cas de chirurgie du cerveau. Par exemple, testée en 2004 sur 91 patients subissant une chirurgie dentaire, au cours de laquelle des antidouleurs pouvaient leur être administrés en plus selon leurs réponses aux stimuli douloureux, les hypnotisés ont consommé 25 % d'antalgiques de moins que le groupe contrôle, et ont jugé la douleur postopératoire 35 % plus faible. Cette méthode permettrait de réduire les effets secondaires de l'anesthésie. C'est l'activité réduite sous hypnose du cortex cingulaire antérieur, structure spécialisée dans la perception émotive de la douleur, qui serait responsable de cet effet analgésique.

Dépression

Méditation

Elle serait utile pour prévenir la rechute

C'est l'application clinique la plus sérieusement étudiée. Le programme thérapeutique de réduction du stress par la pleine conscience (MBSR) et sa variante, le MBCT (qui inclut au parcours de la MBSR des éléments de thérapie cognitive) ont toutes deux montré une efficacité réelle pour prévenir une rechute de la dépression : jusqu'à 50 % de récidive en moins chez des personnes ayant déjà replongé trois fois. Il semble que plus les symptômes résiduels de la dépression sont forts, plus la pleine conscience aide à prévenir la rechute. Le suivi du MBCT serait même aussi efficace que la poursuite d'un traitement préventif après rémission, selon une étude publiée en 2015. Le changement de perception des pensées négatives et la prise de conscience des processus émotionnels en lien avec les modifications des activités cérébrales (voir p. 69) feraient obstacle, dans les périodes d'humeur basse, à la rumination et aux jugements négatifs délétères.

Hypnose

Elle pourrait limiter le phénomène de rumination

Peu d'études se sont focalisées sur le traitement de la dépression par l'hypnose, mais cette dernière semble bien pouvoir en diminuer certains symptômes, comme la rumination. Six sessions hebdomadaires se sont par exemple révélées plus efficaces qu'une simple écoute et ont permis de faire passer une dizaine d'individus d'un état dépressif "moyen" à "léger", selon une étude mexicaine. En revanche, l'hypnose semble inefficace dans la prévention de la dépression post-partum, et son impact sur les cas de rechute, très fréquente dans la dépression, n'a pas été assez étudié, pointent les experts.



Une opération sous hypnose (ici, l'ablation d'un lipome sous-cutané), au CHU de Liège.

H.RAGUET/BSIP

Vieillissement

Méditation

La possibilité d'une cure de jouvence?

C'est ce que laissent à penser les effets physiologiques à l'échelle cellulaire (voir p. 73). Cet effet protecteur contre le vieillissement serait lié, notamment, à une meilleure régulation du stress et de ses effets secondaires comme l'inflammation. Mais les scientifiques eux-mêmes soulignent à quel point ces résultats sont encore fragiles, car ils sont basés en grande partie sur l'observation de populations très particulières, à savoir des personnes qui sont des "experts de la méditation" ayant à leur actif souvent plus de 10000 heures de pratique. De nombreux facteurs en lien avec d'autres aspects de leur mode de vie pourraient aussi expliquer tout ou partie de ces effets. Tout cela reste donc à prouver, notamment à l'aide d'études dites longitudinales, c'est-à-dire suivant sur le long terme l'entrée en pleine conscience de personnes novices. Ce type de suivi est d'ailleurs envisagé afin de confirmer l'effet protecteur récemment découvert sur le cerveau. Avec l'âge, certaines zones cérébrales subissent en effet de plein fouet un inévitable rétrécissement. La méditation protégerait certaines de ces régions, comme l'insula et le cortex cingulaire antérieur et postérieur, connus aussi pour être le siège de pathologies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer. De là à faire de la pratique régulière de la méditation un traitement préventif contre ces maladies, beaucoup de chemin reste à faire. Pas sûr d'ailleurs que tout le monde puisse s'astreindre à une vie entière de pleine conscience…

Hypnose

Il n'existe pas de données disponibles sur cette application

Troubles sexuels

Méditation

À l'étude, mais rien de très probant

Panne de désir, absence d'orgasme ou problème d'érection… À côté des fameuses "pilules bleues" ou des thérapies cognitives et comportementales de couple – pas toujours concluantes, quelle place pour la méditation ? De premières évaluations ont été conduites dans les années 2000. Mais la faiblesse des études ne permet pas de conclure. D'autant plus que les mécanismes via lesquels la pleine conscience pourrait agir restent théoriques, et surtout d'ordre psychologique.

Hypnose

Une vraie efficacité seulement contre les troubles érectiles

Dans le cas des troubles érectiles sans cause organique, l'hypnothérapie semble avoir une réelle efficacité par rapport aux traitements chimiques (testostérone ou trazodone) ou alternatifs (acupuncture). Mais pour les autres troubles sexuels comme l'éjaculation précoce ou le vaginisme, les études se limitent à l'observation de cas et n'offrent pas de résultats solides. Le potentiel relaxant de l'hypnothérapie sur l'anxiété pourrait certes se répercuter sur la sexualité, mais ses promesses sont aujourd'hui plus fortes que ses résultats.

Troubles anxieux

Méditation

Des effets prometteurs en lien avec la thérapie cognitive

Pour surmonter les phases aiguës d'angoisse, la thérapie cognitive et comportementale est aussi efficace que les traitements médicamenteux comme les antidépresseurs. La méditation de pleine conscience, censée faciliter la régulation des émotions, a été envisagée pour traiter ces troubles. De concert avec des éléments de thérapie cognitive, une cure de pleine conscience produirait les mêmes effets que les traitements de référence. C'est ce que confirme une méta-analyse publiée début 2018, même si les chercheurs se gardent de toute conclusion définitive.

Hypnose

Efficacité prouvée dans certains cas

Sur la réduction de l'anxiété liée aux gestes chirurgicaux simples, du soin dentaire à la biopsie, ou celle associée à une maladie chronique, les études sont quasi unanimes quant à l'efficacité de l'hypnothérapie. Celle-ci surpasserait même l'écoute empathique. C'est la réduction de l'activité du cortex cingulaire antérieur, favorisant la création d'une "bulle" et le détachement face à la douleur, qui pourrait être à l'origine de cet effet relaxant. Cependant, les résultats actuels n'ont pas permis de déterminer une efficacité avérée de l'hypnose dans le traitement de l'anxiété lorsque celle-ci est chronique ou phobique.

Maladies inflammatoires

Méditation

Des pistes, mais pas de preuve

Pour soulager l'arthrite rhumatoïde ou l'eczéma, les malades se tournent souvent vers la méditation. Or, aucune preuve n'existe que la pleine conscience, ou d'autres types de méditation, apporte un bénéfice réel. Quelques observations scientifiques, en lien avec la réduction du stress par la méditation, ouvrent toutefois des pistes intéressantes. Il est en effet établi qu'un stress chronique peut déclencher une réponse inflammatoire tous azimuts, les mécanismes physiologiques étant intimement liés. Plusieurs études expérimentales ont observé une réduction des marqueurs moléculaires de l'inflammation chez des personnes ayant suivi le programme de réduction du stress par la pleine conscience (MBSR). Mais côté clinique, l'évaluation de ce programme sur le psoriasis (une maladie inflammatoire de la peau) a donné des résultats mitigés. Il est donc trop tôt pour statuer.

Hypnose

Efficace sur les maladies inflammatoires de l'intestin

Dans le cas des maladies inflammatoires chroniques de l'intestin, l'effet de l'hypnothérapie serait même visible au stade moléculaire ! Par exemple, utilisée sur 17 patients atteints de rectocolite hémorragique, une seule séance d'hypnothérapie de 50 minutes aurait suffi à réduire leur taux d'interleukines 6, une des molécules de l'inflammation, de 53 % en moyenne. Si ces résultats doivent être confirmés par des études plus robustes, les chercheurs estiment que c'est en stimulant le nerf vague, au potentiel anti-inflammatoire, que l'hypnothérapie produirait cet étonnant effet.

À lire : l'ensemble des publications scientifiques en lien avec le dossier et les livres de John Kabat-Zinn.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Y a-t-il des effets indésirables ?

Modifier son état de conscience n'est pas toujours synonyme de "zénitude". Maux de tête, somnolence, anxiété voire création de faux souvenirs… Autant d'effets secondaires recensés par le personnel médical de la Mayo Clinic (États-Unis) proposant à leurs patients des séances d'hypnothérapie. Il en va de même pour la méditation, dont la pratique régulière peut conduire à traverser des expériences inconfortables (voir p. 71). *"À ce jour, seulement 25 % des études cliniques sur la méditation prennent en compte de possibles effets secondaires",* regrettent les auteurs d'une évaluation critique de la recherche en science contemplative publiée récemment dans la revue *Perspective in Psychological Sciences.*

Est-ce que cela marche sur tout le monde ?

Pas sûr, c'est d'ailleurs l'une des questions qui taraude le plus les scientifiques. Première question ouverte : comment chacun d'entre nous perçoit et exécute les recommandations de l'instructeur ? *"C'est l'une des problématiques auxquelles je souhaite m'atteler durant ces prochaines années",* confirme le neuroscientifique Yi-Yuan Tang, spécialiste de la méditation de pleine conscience. Pour l'hypnose, *"la suggestibilité varie selon les personnes,* explique Jean-Marc Benhaiem. *En moyenne, 15 % des gens sont hautement sensibles, 15 % peu sensibles et 70 % moyennement."* Sans que l'on connaisse les fondements précis de ces différentes sensibilités.

À quelle dose ?

Difficile de savoir : *"C'est l'une des autres grandes questions ouvertes pour la méditation"*, reconnaît le chercheur Antoine Lutz. Certes, les programmes thérapeutiques basés sur la pleine conscience adoptent un découpage précis des sessions de groupe et individuelles durant les 8 semaines de stage. Mais après ? À quelle "dose" périodique les personnes ont-elles intérêt à poursuivre l'expérience ? À ce jour, il est impossible de fournir des recommandations précises sur ces points. Comme pour toute expérience subjective, chacun est invité à faire selon son ressenti. Les mêmes questions se posent pour l'hypnothérapie : bien qu'une séance suffise à réduire la douleur lors d'une opération, il n'y a pas de règle précise dans le cas des traitements contre l'addiction ou l'anxiété chronique.



E.PIERROT/AGENCE VU

Quid des applications en ligne ?

C'est un marché en pleine expansion. Aux États-Unis par exemple, les applications numériques combinées à la vente de DVD et aux cours dédiés à la méditation, généreraient un chiffre d'affaires annuel de 1 milliard de dollars. La seule société DreaminzZz a enregistré 200 000 € sur les 4 premiers mois de vente de son masque d'auto-hypnose, promettant tous les bénéfices clamés de l'hypnothérapie : de l'amélioration de la créativité à la réduction des addictions. Face à cet engouement, que disent les sciences contemplatives ? Très peu d'études évaluent la qualité de ces coachings numériques. *"Tous ces VRP du bien-être posent un vrai problème,* regrette la néphrologue Corinne Isnard Bagnis. *En laissant croire que ces pratiques guérissent tout et n'importe quoi, ils risquent de diluer leur potentielle valeur médicale."*

J.-B.V. et T.C.-F.

1781

L'astronome anglais William Herschel annonce sa découverte d'une nouvelle planète : Uranus.



NASA - M.GARLICK/SPL/COSMOS

Uranus et Neptune

LE DERNIER

Y aller ou pas ? Après des décennies de désintérêt, les agences spatiales étudient enfin une mission vers les deux planètes géantes glacées de notre système solaire. **Serge Brunier** raconte comment ces deux oubliées de la conquête spatiale, qui n'ont reçu la visite que d'une sonde il y a trente ans, se sont aujourd'hui hissées au premier plan.

1846

L'Allemand Johann Gottfried Galle observe pour la première fois Neptune, dont la présence avait été calculée trois ans auparavant.

1986

La sonde américaine *Voyager 2* passe à 80 000 km d'Uranus. Trois ans plus tard, elle survole Neptune à 30 000 km.

2020

La Nasa devra prendre la décision d'envoyer ou non une sonde survoler Uranus (2030-2034) ou Neptune (2029-2030).



DÉFI

Leurs images sont stupéfiantes de beauté, et les données qu'elles ont collectées d'une richesse telle que deux générations de chercheurs continueront à les exploiter.

Cassini, *Juno*, *Curiosity*, *Rosetta*… Depuis l'aube du XXIe siècle, l'humanité s'est installée à demeure dans le système solaire. Mars est occupée continûment par des satellites ou des rovers depuis vingt ans. Des sondes tournent autour de la géante Jupiter et de la rocheuse Vénus tandis que vous lisez ces lignes. *Cassini* vient d'achever en fanfare ses treize ans de révolution autour de Saturne.

Au final, la planète aux anneaux aura été visitée quatre fois ; Jupiter huit fois ; Vénus et Mars plus d'une vingtaine de fois… chacune !

Même Mercure, ce petit monde lunaire sans atmosphère, a bénéficié de quatre survols et d'une étude en orbite.

Même Pluton, pourtant déchue de son titre de planète, a été visitée en 2015.

Et Uranus, et Neptune, direz-vous ? Quelles sondes scrutent les deux planètes qui clôturent notre système ? Eh bien… aucune ! Jamais aucun satellite ne s'est satellisé autour des deux géantes. Elles n'ont reçu la visite, rapide, "en passant", que d'une seule et même sonde, la vénérable *Voyager 2*, en 1986 pour Uranus, 1989 pour Neptune.

PLONGÉES DANS LA NUIT ET LE FROID

Mais cet incroyable désintérêt pour les dernières des huit planètes du système solaire est en train de faire place à une excitation de plus en plus pressante. Les spécialistes de la Nasa viennent de rendre un rapport pour défendre leur exploration et préconiser des concepts de mission.

Pour l'heure, c'est encore le brouillard, aucun dollar n'a été mis sur la table. La décision devrait être prise d'ici à 2020… pour un départ prévu autour de 2030. *"Uranus et Neptune sont en très bonne place pour être la prochaine grande mission dans le cadre du programme Flagship,* observe François Forget, directeur

Deux planètes pleines de mystères



Une atmosphère furieuse

Mais d'où vient cette magnifique couleur bleu abysse ? La "grande tache sombre" de Neptune, pendant modeste de la "grande tache rouge" de Jupiter, est un anticyclone détecté par *Voyager 2*. Il est de la même taille que la Terre et les vents y soufflent jusqu'à 2 500 km/h, un record dans le système solaire.



Une étrange lune inversée

Triton tourne à l'inverse de sa planète : c'est sûrement un corps de glace lointain – semblable à Pluton, qu'il surpasse par la taille – capturé par Neptune. Sa surface est complexe : plaines de glace d'azote, réseaux de failles, de collines, et surtout des geysers, venus d'un sous-sol probablement en partie liquide.

Un champ magnétique atypique

Comprendre le champ magnétique d'une planète, c'est comprendre sa structure. Pour Neptune, mystère : son champ, 27 fois plus intense que celui de la Terre, est incliné à 47° sur l'axe de rotation et décalé de 13 500 km par rapport à son centre ! Pourquoi ? Même question concernant Uranus…

NASA - M.GARLICK/SPL/COSMOS - A.DAGAN



URANUS

Une orbite inclinée

L'axe de rotation sur elle-même d'Uranus est presque parallèle au plan de sa révolution autour du Soleil. Résultat, la planète semble littéralement rouler sur son orbite. Selon les spécialistes, cette bizarrerie pourrait provenir de collisions avec d'autres corps lors de sa formation, il y a 4,5 milliards d'années.

Une lune géologiquement active

Miranda, petit satellite d'environ 500 km de diamètre, à peine plus dense que l'eau, est un mystère. Sa surface est à la fois très vieille et très jeune : ici, d'antiques régions couvertes de cratères d'impacts ; là, des chevrons réguliers, des crêtes, des canyons récents… et l'impressionnant Verona Rupes, une falaise haute de 10 km.



Un bilan énergétique déséquilibré

Les autres géantes, Jupiter, Saturne et Neptune, rayonnent entre deux et trois fois plus d'énergie qu'elles n'en reçoivent du Soleil ; elles évacuent lentement leur chaleur interne, accumulée depuis leur formation par effondrement gravitationnel. Uranus, elle, rayonne autant d'énergie qu'elle en reçoit. Pourquoi ? Mystère…

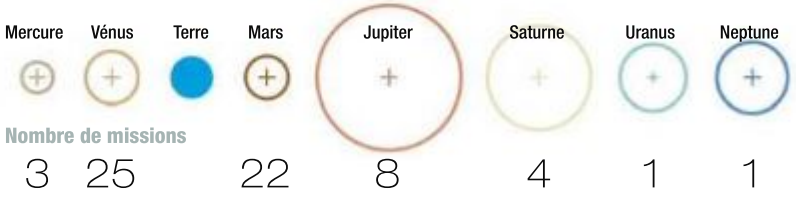
de recherche au CNRS. *Elles sont devenues une évidence."* Le vent a tourné et l'heure des géantes de glace semble venue, enfin.

Il faut dire qu'historiquement, Uranus et Neptune sont, en quelque sorte, des pièces rapportées dans le système solaire. Quand Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne sont très brillantes et connues depuis la plus haute Antiquité, Uranus est invisible et n'a été découverte qu'en 1781 ; et Neptune, plus pâle encore, qu'en 1846 ! Minuscules vues de la Terre, elles ne montraient rien, ou presque lorsque les astronomes les scrutaient au télescope : pendant deux siècles d'observation astronomique, elles n'ont été que deux globes bleuâtres et ternes, alors que Mars, Jupiter et Saturne laissaient voir aux observateurs émerveillés une multitude de détails changeant quotidiennement.

Et puis, Uranus et Neptune, c'est loin. La première est près de vingt fois plus distante que la Terre ne l'est du Soleil, la seconde, trente fois. À cette distance, les deux géantes reçoivent respectivement 400 et 900 fois moins de lumière et de chaleur de notre étoile, elles sont donc perpétuellement plongées dans la pénombre et le froid. Longtemps, les scientifiques ont pensé que de tels mondes devaient être en hibernation et ne connaître que peu d'activité ; une intuition, on va le voir, totalement fausse !

Enfin et surtout, distantes, dans le langage

Les moins visitées de tout le système solaire



des ingénieurs, cela signifie aussi… inaccessibles, ou presque.

Quel scientifique, au faîte de son activité professionnelle, aurait eu envie de proposer un voyage de plusieurs décennies qui aboutirait quand il aurait pris depuis longtemps sa retraite ? Alors que Vénus ou Mars sont à six mois de fusée de la Terre…

L'OPPORTUNE ODYSSÉE DE *VOYAGER 2*

Bref, lors de la première phase d'exploration du système solaire, les planètes Uranus et Neptune ont été exclues des programmes spatiaux. Et sans un récent et extraordinaire concours de circonstances cosmiques, nous attendrions toujours la première sonde vers les deux belles endormies…

Ce coup de pouce, ce fut un "alignement" parfait entre les quatre planètes géantes du système solaire : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Un alignement – en réalité, une immense courbe découverte en 1964 par Gary Flandro, un ingénieur au Jet Propulsion Laboratory de la Nasa – qui permet, tous les 176 ans, à une sonde terrienne de visiter l'une après l'autre les quatre planètes sur une seule trajectoire. C'est ainsi que la sonde américaine *Voyager 2* a pu réaliser la plus belle mission de toute l'exploration spatiale : partie de la Terre en 1977, elle a croisé Jupiter en 1979, puis Saturne en 1981, Uranus en 1986 et enfin Neptune en 1989.

> *Avec les plus puissantes fusées actuelles, il faut une dizaine d'années pour rallier Uranus et une douzaine pour atteindre Neptune*
>
> MARK **HOFSTADTER**
> Astronome au Jet Propulsion Laboratory, Nasa

Et les images, prises à seulement 80 000 et 30 000 km de distance des deux géantes, ont réservé des surprises, bonnes et mauvaise… La mauvaise, d'abord : Uranus, sous l'œil électronique de *Voyager 2*, ne révéla rien de plus que les télescopes terrestres ! La planète demeura cachée sous un voile nuageux absolument uniforme, validant en apparence l'intuition première des astronomes : ces astres du bout du monde, plongés dans la nuit et le froid, n'ont guère d'intérêt.

Les bonnes, surtout : stupéfiant tout le monde, *Voyager 2* révéla une Neptune à l'atmosphère changeante et furieuse. Des satellites étonnamment actifs : aux côtés d'Uranus, Miranda dont la surface striée est un magnifique puzzle pour géologues ; autour de Neptune, Triton, un astre étonnamment jeune, où moins de 200 cratères d'impacts ont été trouvés, alors qu'on en attendait des dizaines de milliers… et surtout, géologiquement actif : comme Encelade, le satellite de Saturne, Triton est le siège de geysers.

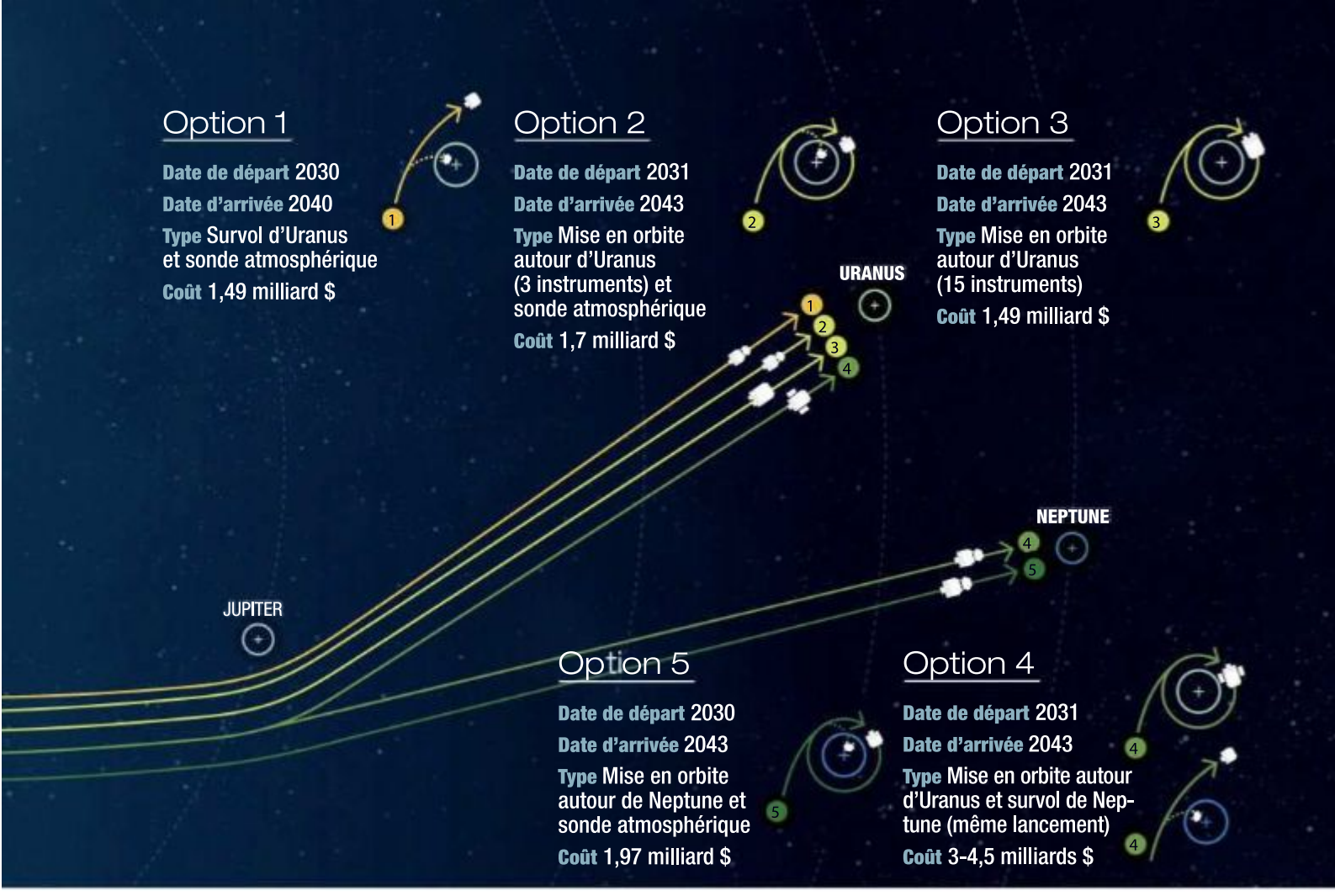
Et puis Uranus est aussi la seule planète du système à littéralement "rouler" sur son orbite, avec un axe de rotation incliné à 98° sur son plan orbital ! Pourquoi ? A-t-elle subi un impact gigantesque qui l'aurait fait basculer ? Existe-t-il en son cœur rocheux une dissymétrie qui la déséquilibre ? Pourquoi



A.DAGAN

Faits & chiffres

Uranus est **4 fois plus grande,** 63 fois plus volumineuse et 14 fois plus massive que la Terre. Neptune, **3,8 fois,** 57 et 17 fois. La première tourne autour du Soleil en **84 ans,** la seconde, en **164 ans.**. Les deux planètes reçoivent respectivement 400 et 900 fois moins de chaleur et de lumière du Soleil que la Terre.



Uranus émet-elle la même quantité d'énergie sous forme de lumière et de chaleur qu'elle en reçoit du Soleil, et Neptune deux fois plus ? Et pourquoi l'intense champ magnétique d'Uranus est-il décalé de 60° par rapport à son axe de rotation ? Les spécialistes l'ignorent.

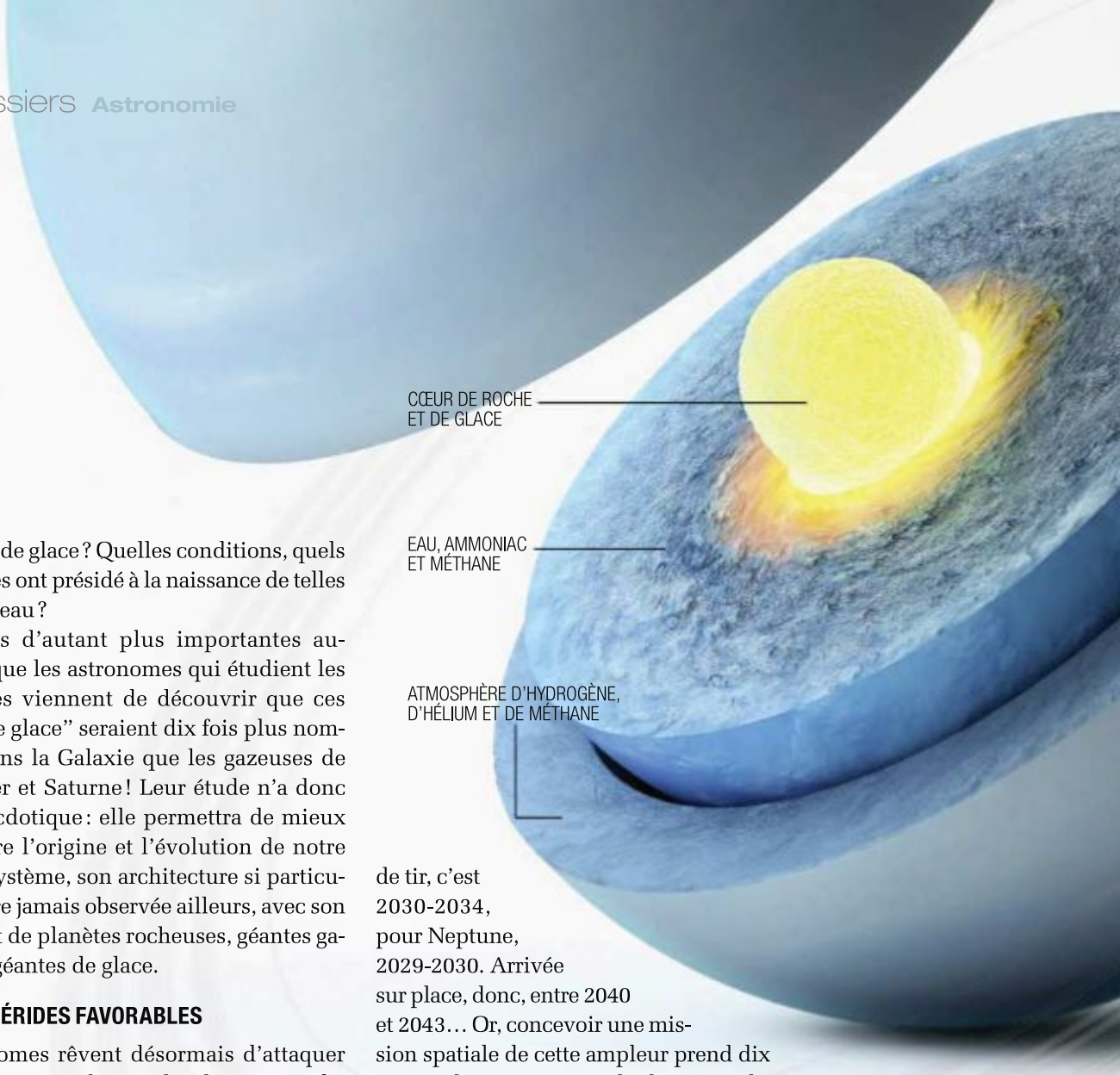
DES PLANÈTES D'EAU SUPERCRITIQUE

Progressivement, à mesure que les spécialistes épluchent la moisson de *Voyager 2*, les deux géantes cessent d'être considérées comme des versions miniatures, froides et inactives de Jupiter et Saturne. Elles se révèlent des mondes à part, pleins de mystères.

D'autant que dans les années 1990 et 2000, Saturne et Jupiter se dévoilent sous l'œil de *Galileo* et *Cassini*, permettant aux planétologues de noter que la densité d'Uranus et Neptune leur est comparable. Ils élaborent alors des modèles et découvrent que ces deux dernières planètes, formées bien plus loin du Soleil et de ce fait moins riches en roches, doivent être très riches en… eau ! Les géantes du fond du système solaire n'ont en fait rien de commun avec les gazeuses Jupiter et Saturne. Quand ces dernières sont essentiellement constituées à 85 % d'hydrogène et d'hélium, Uranus et Neptune sont formées à 65 % d'eau, d'ammoniac et de méthane.

Et voici que les lointaines géantes s'imposent comme les prototypes d'une nouvelle classe d'astre, une catégorie de planètes assurément dignes d'être étudiées : les géantes de glace… même si ce terme est trompeur. *"En réalité, Uranus et Neptune sont sans doute constituées essentiellement d'eau supercritique, c'est-à-dire une eau portée à plus de 400°C sous une pression gigantesque,* précise Olivier Mousis, astrophysicien au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. *Et sous ce fluide brûlant se trouve un minuscule noyau de composition inconnue, mélange de roches et de glaces, probablement. 'Géantes de glace' signifie que ces planètes se sont formées préférentiellement à partir de glaces, il y a 4,5 milliards d'années."*

Cette découverte déclenche son lot de questions : comment, dans le système solaire, les planètes se sont-elles formées en trois groupes distincts : les rocheuses, les géantes gazeuses et



P.BULL/DORLING-KINDERSLEY

les géantes de glace ? Quelles conditions, quels mécanismes ont présidé à la naissance de telles planètes d'eau ?

Questions d'autant plus importantes aujourd'hui que les astronomes qui étudient les exoplanètes viennent de découvrir que ces "géantes de glace" seraient dix fois plus nombreuses dans la Galaxie que les gazeuses de type Jupiter et Saturne ! Leur étude n'a donc rien d'anecdotique : elle permettra de mieux comprendre l'origine et l'évolution de notre singulier système, son architecture si particulière, encore jamais observée ailleurs, avec son alignement de planètes rocheuses, géantes gazeuses, et géantes de glace.

DES ÉPHÉMÉRIDES FAVORABLES

Les astronomes rêvent désormais d'attaquer ces questions avec des sondes du XXIe siècle, et pas seulement sur des images pixellisées prises par des caméras inventées dans les années 1970.

Aujourd'hui, le timing est parfait. Doublement. D'abord, *Cassini* a terminé son voyage autour de Saturne. *Juno* entame la phase finale de son épopée jovienne. *New Horizons* a visité Pluton… L'exploration du système solaire est à la croisée des chemins. Les agences spatiales, Nasa en tête, doivent maintenant dessiner les contours d'un nouveau grand projet d'exploration pour le milieu du XXIe siècle.

Et surtout, les éphémérides sont favorables. Car la mécanique céleste impose ses lois, où les trajectoires les plus rapides sont des courbes et où, pour aller vers l'ouest, on se dirige plein est. Le voyage vers Uranus et Neptune se fera en deux étapes, avec des passages près de Vénus et Jupiter qui projetteront les sondes vers leur cible finale. Pour Uranus, la meilleure fenêtre de tir, c'est 2030-2034, pour Neptune, 2029-2030. Arrivée sur place, donc, entre 2040 et 2043… Or, concevoir une mission spatiale de cette ampleur prend dix ans, au bas mot… Le calcul est simple. C'est maintenant que la décision doit être prise !

Quoi qu'il en soit, la communauté se mobilise. *"Nous sommes plusieurs équipes, de part et d'autre de l'Atlantique, à proposer des missions"*, confirme Olivier Mousis. Un rapport de la Nasa paru il y a un an détaille les meilleures options. Elles sont au nombre de quatre, et toutes proposent au moins de se satelliser autour de l'une des planètes (voir infographie).

La mission sera forcément sous bannière américaine : l'Europe ne peut pas aller d'elle-même aussi loin, car elle ne maîtrise pas la technologie des générateurs thermoélectriques à radioisotope qui alimentent les sondes lorsque le Soleil est trop loin pour les panneaux solaires. Et le principal défi qu'il faudra relever pour la mener à bien est déjà identifié : le voyage.

Uranus est à 3 milliards de kilomètres d'ici, Neptune à plus de 4 milliards ! Mark Hofstadter, astronome au JPL, résume : *"C'est*



Un type de géantes gazeuses unique dans notre système…

Uranus et Neptune semblent très différentes de Jupiter et Saturne, des géantes gazeuses composées à 85 % d'hydrogène et d'hélium. Vu la distance du Soleil à laquelle elles sont nées, la glace devait être l'élément le plus important. Elles représentent un nouveau type de planète : les géantes de glace. Mais pour les former, le processus est très précis. Elles devraient donc être rares…

… mais très répandu dans l'Univers

Surprise : la moitié des exoplanètes détectées par *Kepler* sont des géantes de glace ! Mieux : une fois les données corrigées de leurs biais, il s'avère que les "Uranus/Neptune" sont près de 10 fois plus nombreuses que les "Jupiter/Saturne" ; pourquoi ?

10 % des exoplanètes sont des géantes de glace

simple, avec les plus puissantes fusées actuelles, les Atlas V551 et Delta IV Heavy, il faut une dizaine d'années pour rallier Uranus et une douzaine d'années pour atteindre Neptune."

Pas de quoi décourager les scientifiques, après tout, *New Horizons* a rejoint Pluton après un voyage de près de dix ans à travers le système solaire. Et le succès de cette mission, qui a révélé des mondes glacés mais étonnamment actifs, a donné du grain à moudre aux partisans de missions vers Uranus et Neptune. Mais si la sonde a atteint sa cible aussi "vite", c'est qu'elle n'a fait que la frôler, à la vitesse folle de 50 000 km/h ! Or, les missions vers Uranus et Neptune visent à se satelliser autour des deux géantes : il va falloir freiner…

LA QUESTION FINANCIÈRE EN ARBITRE

Une autre solution est toutefois proposée par les chercheurs : utiliser la future fusée géante de la Nasa, la SLS (Space Transportation System). Ultra-puissante, elle met Uranus à six ans de voyage, Neptune à 10. Mais François Forget tempère : *"La fusée SLS permettrait d'aller plus vite là-bas, c'est vrai. Le problème, c'est qu'elle sera chère et qu'il faudra embarquer beaucoup de carburant pour pouvoir freiner et se mettre sur orbite ! Le gain de temps en vaut-il le coût ?"*

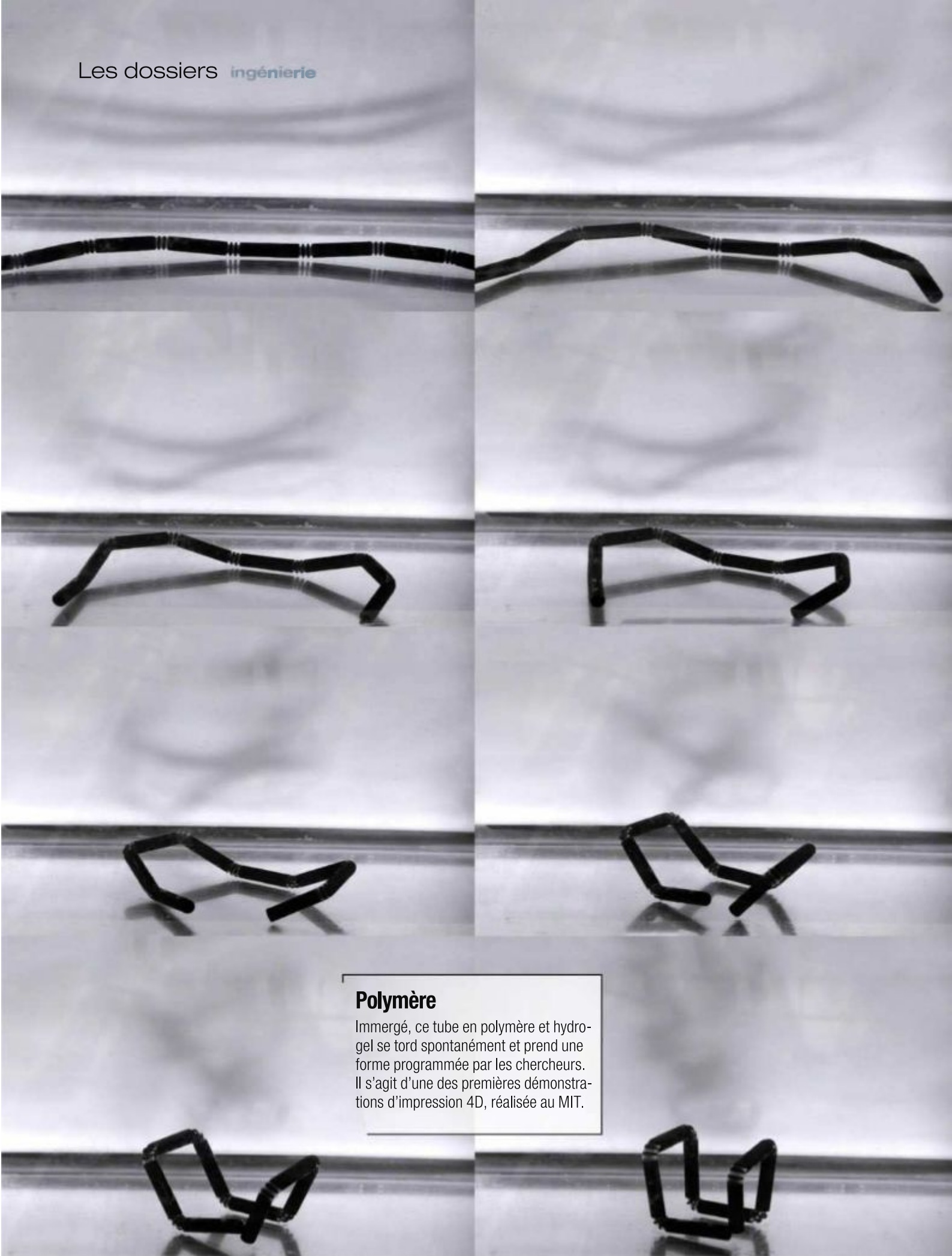
L'argent reste le nerf de la guerre, quand des projets de missions vers Uranus et Neptune sont en compétition avec d'autres qui visent des comètes, des astéroïdes, des satellites… *"Nous cherchons à garder les missions vers Uranus et Neptune dans une enveloppe de 3 milliards de dollars avec un coût de lancement de l'ordre de 500 millions. Le coût de la SLS pourrait avoisiner 1 ou 1,5 milliard… Ce n'est donc pas forcément la meilleure solution"*, calcule Mark Hofstadter.

Sauf si *"la SLS était utilisée autrement, en emportant deux sondes jumelles, l'une à destination d'Uranus, l'autre de Neptune !"*, rêve tout haut François Forget. Ce dernier concept de mission (voir infographie, option 4), bien que dépassant le budget, a fait l'objet d'une section spéciale dans le rapport soumis à l'agence… Les spécialistes y voient en effet une solution technique et scientifique idéale, puisque avec deux sondes identiques, les coûts seraient réduits.

Eh quoi, percer les secrets des deux dernières planètes jamais visitées du système solaire mérite bien quelques sacrifices.

À voir : les photos d'Uranus et Neptune prises par *Voyager 2* sur le site de la Nasa.
À lire : l'étude de mission rendue par les spécialistes.

EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com



Polymère

Immergé, ce tube en polymère et hydrogel se tord spontanément et prend une forme programmée par les chercheurs. Il s'agit d'une des premières démonstrations d'impression 4D, réalisée au MIT.

IMPRESSION 4D



SELF-ASSEMBLY LAB/STRATASYS LTD./AUTODESK INC. - L.JOHNSON/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE

SKYLAR **TIBBITS**
Architecte et informaticien au MIT, inventeur de l'impression 4D

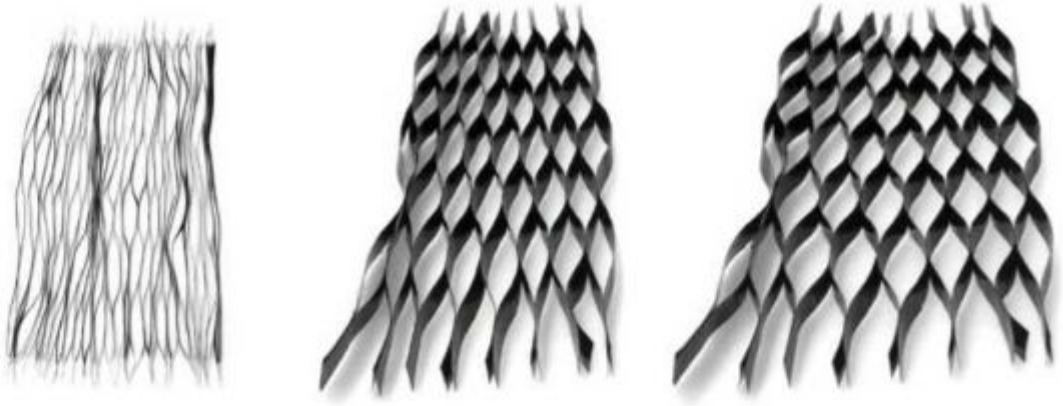
« J'ai créé les premiers matériaux animés »

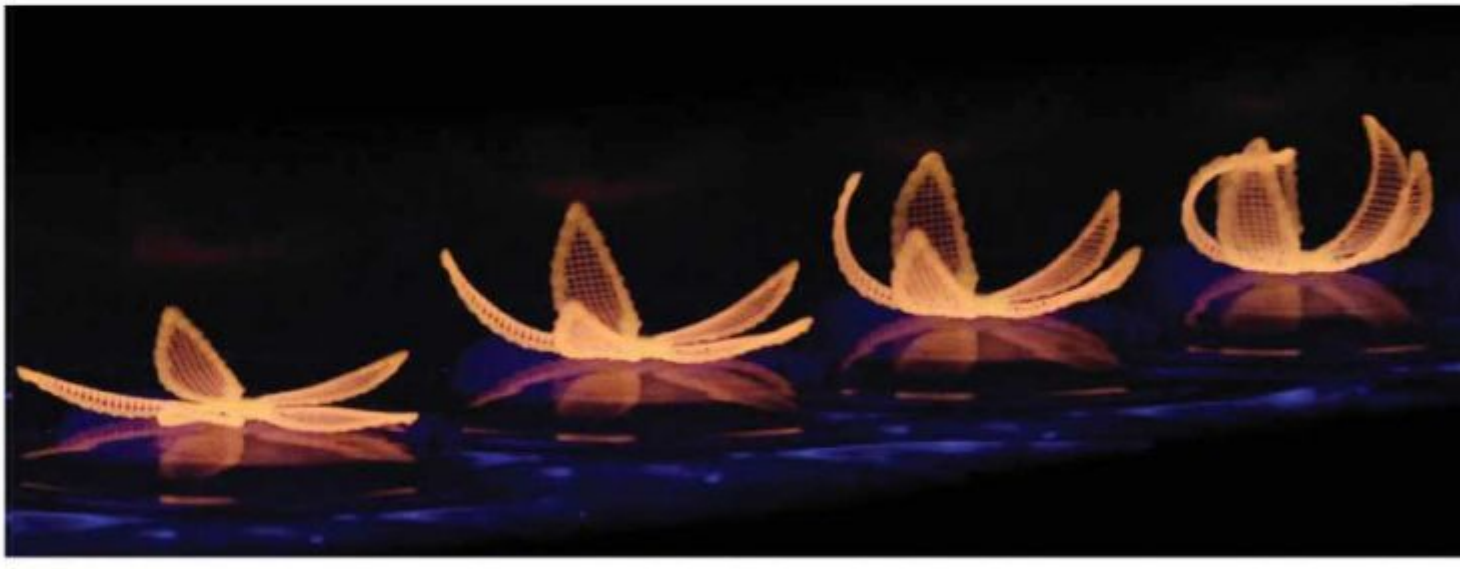
Des objets qui prennent forme et s'animent tout seuls, juste sous l'effet de la chaleur ou de l'eau : tel est le prodige de l'impression 4D, qui ajoute le mouvement à l'impression 3D. Une révolution dans la science des matériaux qui, à terme, augure de tout nouveaux objets, prédit **Muriel Valin**, bluffée par l'inventeur de cette technologie.



Polymère

Balayé par un faisceau lumineux, ce film se contracte et s'étire pour former un maillage plus ou moins serré. Inventé au MIT, il montre la réversibilité possible de certains objets imprimés en 4D.







Bois

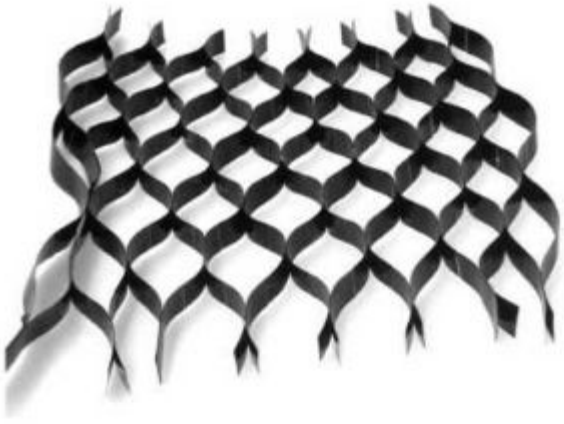
Cette plaque en bois, matériau a priori difficile à tordre en tous sens, se courbe quelques secondes après avoir été plongée dans un bac d'eau. On la doit au Self-assembly Lab.

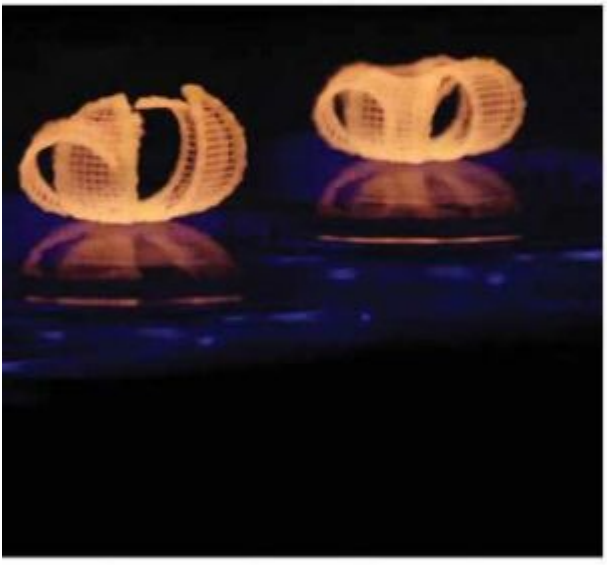


Multi-matériau

Cette pince s'anime en fonction de la température. Imaginée par l'Université de technologie de Singapour, elle pourrait servir demain à délivrer des médicaments ou inspirer des panneaux solaires adaptatifs…







Cellulose

Cette "fleur" en fibre de cellulose et hydrogel se recroqueville, une fois immergée. Créée en 2016 à Harvard, elle est un des exemples les plus élaborés en matière d'architecture contrôlée.



C.GUBERAN/SELFASSEMBLY LAB/MIT - SELF-ASSEMBLY LAB/MIT - WYSS INSTITUTE FOR BIOLOGICALLY INSPIRED ENGINEERING, HARVARD UNIVERSITY - SUTD

À Cambridge, près de Boston, il se passe des phénomènes pour le moins surprenants : dans un des laboratoires du prestigieux MIT (Massachusetts Institute of Technology), des plaques de fibre de carbone éclairées se torsadent spontanément ; des surfaces en cellulose plongées dans de l'eau se rétractent en des formes complexes ; des tubes se courbent et dessinent des lettres de l'alphabet. Pourtant, aucun moteur ni circuit électronique n'est inséré dans ces structures. Ici, la matière se met spontanément en mouvement, comme une sorte d'origami vivant.

Bienvenue dans le laboratoire dédié à "l'impression 4D", une nouvelle approche d'ingénierie actuellement en vogue aux quatre coins du monde (États-Unis, Allemagne, Singapour, Australie…), à en croire le nombre de publications que *Science & Vie* voit passer chaque mois sur le sujet.

AU-DELÀ DE LA MÉMOIRE DE FORME

Vous connaissez déjà sûrement l'impression 3D, qui permet d'imprimer des objets couche par couche. Comme son nom l'indique, l'impression 4D reprend le même principe mais lui ajoute une dimension supplémentaire : le temps. Car là où les objets en 3D, une fois produits, restent statiques à la sortie de la machine, ceux imprimés en 4D sont construits de manière à changer de géométrie en l'espace de quelques secondes, une fois soumis à une condition particulière (lumière, eau, pression, chaleur ou stimulation électrique…) qui joue le rôle de stimulus externe.

Voilà qui fait penser à la mémoire de forme, qui existe déjà (par exemple dans les matelas). Sauf qu'ici, ce n'est pas une simple élasticité qui est en jeu. Pour comprendre comment cela marche, il faut revenir à l'intuition de départ. Tout commence en 2011 quand un jeune architecte et informaticien du MIT, Skylar Tibbits, accompagné de son équipe, se penche sur les capacités du vivant à se déployer extrêmement vite, de manière efficace, et sans consommation excessive d'énergie. Le meilleur exemple est le repliement des protéines, qui se produit dans notre organisme en quelques microsecondes.

"En suivant cette idée, nous avons commencé à travailler sur de nouveaux matériaux à mémoire de forme, des alliages capables de se 'souvenir' de leur forme initiale et d'y revenir, via un simple changement de température, raconte Skylar Tibbits. *Mais nous voulions aller plus loin, avec des matériaux différents et d'autres paramètres que la chaleur pour arriver à faire de l'auto-assemblage plus élaboré. C'est comme ça que nous sommes arrivés à l'idée de la 4D."*

L'équipe commence à imprimer en 3D des objets en plusieurs matériaux, avec des zones plus ou moins sensibles à des stimuli donnés, apportant ainsi la quatrième dimension du temps. Elle construit, par exemple, des tubes dont certaines parties se dilatent au contact de l'eau, tandis que d'autres restent rigides. Ces mouvements locaux entraînent la déformation de l'objet complet de manière contrôlée. L'impression 4D est née.

Ces travaux pionniers sont dévoilés lors d'une des fameuses conférences américaines TED en février 2013, avec un tube mouillé capable de se plier seul, pour former les lettres… MIT. La démonstration fait mouche. Les slogans aussi : *"L'impression 4D, c'est comme de la robotique sans fil ni moteur !"*

Le concept va alors vite essaimer. *"À la suite de cette présentation, beaucoup d'entreprises sont venues nous voir et nous ont dit qu'elles voulaient faire la même chose avec différents matériaux : du bois, du métal, des fibres… et différents stimuli"*, poursuit Skylar Tibbits, en évoquant notamment le géant de l'aéronautique Airbus, le spécialiste de logiciels Autodesk ou une société américaine, Geosyntec, qui cherche à concevoir des canalisations dont le volume peut s'adapter à des débits d'eau fluctuants.

Les laboratoires, eux aussi, s'emparent de l'idée. Ainsi, en 2016, une équipe de Singa-

SELF-ASSEMBLY LAB/STRATASYS LTD/AUTODESK INC.

pour fabrique une mini-pince en polymère qui se déforme puis retrouve son aspect initial à partir d'une température de 40 °C, tandis qu'une équipe d'Harvard crée des fleurs en hydrogel qui éclosent au contact de l'eau. *"La palette des matériaux pour travailler en 4D est encore limitée mais elle s'élargit, ce qui est une très bonne nouvelle, car les anciens matériaux à mémoire de forme nécessitaient des étapes de fabrication lourdes"*, précise Jennifer Lewis, à la tête de ce dernier projet.

RENDRE LES OBJETS AUTO-ADAPTABLES

Pour l'instant, les chercheurs s'entraînent surtout sur des formes simples, souvent sans utilité, avant de passer à des architectures plus élaborées. *"Les perspectives qui se profilent avec cette approche en 4D sont prodigieuses*, prédit Ohad Meyuhas, directeur de recherche chez Stratasys, qui travaille sur l'impression 4D avec le MIT. *Quand le concept sera maîtrisé, des meubles en kit livrés à plat pourront se monter tout seuls, à peine sortis du carton. Les vêtements, les fenêtres ou les murs des maisons pourront changer de structure et s'adapter en fonction de la météo…"*

Et l'industrie est aussi visée. Prenons les ailes d'avion : elles pourront se métamorphoser pour améliorer leur aérodynamisme en fonction des conditions de vol. Pour leur part, capteurs et dispositifs médicaux pourront s'auto-adapter, comme le montrent des travaux du Centre Laser d'Hanovre, qui étudie des implants cochléaires capables de se déployer sur commande et d'adopter la forme de l'oreille du patient, suite à un changement de température. Fin du fin, les applications spatiales sont également concernées car, par définition, robots, modules ou panneaux solaires pourront tirer profit de cette possibilité d'auto-assemblage sans intervention humaine. Même l'armée américaine est sur les rangs.

Il faut dire que l'impression 4D cumule les avantages. Les objets produits peuvent être plats et à volume réduit. Ils n'ont pas besoin de moteur ni de composant mécanique, et gagnent ainsi en fiabilité : *"Cet avantage est loin d'être anodin car il va limiter les besoins de maintenance"*, se réjouit Skylar Tibbits. Sans compter la possibilité, grâce à l'impression 3D, de travailler avec plusieurs matériaux cumulés : *"On va pouvoir être dans une démarche d'optimisation des surfaces*, s'enthousiasme Pierre Renaud, chercheur à l'Insa de Strasbourg, spécialisé en impression 3D. *C'est un vrai premier pas pour rendre la matière programmable."*

Sauf que la recherche n'y est pas encore. Pour généraliser ce procédé, il va falloir sortir de l'environnement contrôlé des laboratoires, ce qui est loin d'être une mince affaire. *"La réversibilité est une des grandes questions dont on va devoir se saisir"*, commente Ohad Meyuhas ; *sachant que la recherche du mouvement ne doit pas se faire au détriment de la durée de vie des objets."*

Autre difficulté pointée par Skylar Tibbits : la standardisation de la production. *"Le plus grand défi sera de créer des process et des logiciels 'universels', qui permettent de fabriquer en 4D avec des formes, des stimuli et des matériaux différents. On ne pourra pas réinventer toute la chaîne de production à chaque fois."*

> *Les objets produits gagnent en fiabilité : un avantage loin d'être anodin car il va limiter les besoins de maintenance*
>
> SKYLAR **TIBBITS**

Les premières études marketing esquissent déjà, néanmoins, des prévisions : d'après les conclusions de l'institut Grand View Research dressées en juin 2017, l'impression 4D pourrait connaître un démarrage industriel à partir de 2019, pour un marché estimé à 64,5 millions de dollars, suivi d'un décollage d'ici à 2025. Faut-il partager cet optimisme ?

"Le chemin pour arriver à industrialiser la 4D me semble encore assez long, mais on va y arriver", assure Pierre Renaud. Skylar Tibbits, lui, ne se prononce pas sur une échéance précise. Le directeur de Stratasys, en revanche, se montre très optimiste et annonce les premiers produits d'ici deux à cinq ans, dans le secteur du textile, ainsi que d'autres, plus inattendus, au cinéma, sous forme d'effets spéciaux ! Réponse sur nos écrans dans les prochaines années ?



Le paradoxe du **placenta**



Alors que le placenta est un intrus pour le corps de la mère, comment l'évolution a-t-elle pu le sélectionner ? L'étude de marsupiaux a permis d'élucider le mystère, nous raconte **Alexandra Pihen.**

MONET MOUTRIE

Tous les spécialistes de la reproduction humaine vous le diront : la grossesse placentaire est un paradoxe immunologique. Car, ne l'oublions pas, le futur bébé qui va croître dans le ventre de sa mère est en premier lieu un étranger pour elle. Avec un patrimoine génétique issu pour moitié de son père, il est en partie constitué de protéines qui devraient être reconnues comme des intruses par le système immunitaire maternel. Et il devrait logiquement être rejeté dès sa première tentative d'immixtion dans la muqueuse utérine ! Or, c'est tout le contraire qui se produit : non seulement l'embryon s'implante dans l'utérus, mais en plus il parvient à y développer un placenta, organe qui va œuvrer en parfaite harmonie avec l'organisme maternel pour son développement.

Depuis des décennies, généticiens, physiologistes, virologistes et biologistes cellulaires tentent de résoudre ce casse-tête. Mais comment l'évolution en est-elle arrivée à sélectionner ce processus unique en son genre qu'est la grossesse avec un placenta ?

L'APANAGE DE CERTAINS MAMMIFÈRES

Dans cette longue quête de notre genèse, une équipe du département d'Écologie et de Biologie évolutive de l'Université de Yale (États-Unis) vient de réaliser une percée remarquable. Ils ont mis au jour ce qui serait la clé de la grande réussite des mammifères placentaires : la modification de la réaction inflammatoire au moment précis de l'implantation de l'embryon dans l'utérus.

En d'autres termes, ces mammifères aussi appelés euthériens (dont nous faisons partie, tout comme la vache, le lapin ou le cochon…) ont développé durant l'évolution la capacité de transformer une attaque inflammatoire en avantage. De la mettre "en pause" puis la réactiver en fin de grossesse pour que naisse une progéniture apte à affronter le monde.

"J'ai toujours été intrigué par l'histoire évolutive de la grossesse", confie Oliver Griffith, l'un des membres de l'équipe, qui s'intéresse particulièrement à la très vieille famille des marsupiaux. Ces mammifères, contrairement aux euthériens, présentent des grossesses courtes – de 15 à 20 jours –, exemptes de placenta. Leurs petits naissent très immatures et

doivent être mis à l'abri pendant une longue période dans une poche externe. *"Les étudier offre une occasion unique de regarder à quoi pouvait ressembler les toutes premières grossesses chez les mammifères"*, reprend Olivier Griffith. En les comparant aux mammifères placentaires, il y voit surtout la possibilité de saisir le moment où l'histoire de la grossesse a basculé du côté du placenta.

Olivier Griffith et son équipe se sont penchés sur le cas d'un opossum, le *Monodelphis domestica*, qui est l'un des plus récents représentants des marsupiaux. Chez lui, la réaction inflammatoire a lieu vers la fin de la grossesse, lorsque les fœtus perdent leur membrane externe et tentent de s'attacher à la paroi utérine ; cette réaction s'amplifie jusqu'à la naissance. L'inflammation est donc ici une sorte de déclencheur immunitaire qui va finir par "rejeter" les petits hors du ventre. Quand, chez les mammifères placentaires, ce mécanisme immunologique conduit au contraire à l'implantation.

Or, en comparant l'expression des gènes lors de cette phase finale chez l'opossum et chez les mammifères placentaires, les biologistes ont relevé des similitudes significatives. Les humains et l'opossum partagent, par exemple, l'ensemble des molécules liées au système immunitaire, ainsi que des hormones participant à l'attaque inflammatoire contre l'embryon. De plus, le déroulé semble comparable. Il se produit donc une même inflammation qui entraîne d'un côté le rejet du fœtus (chez l'opossum) et de l'autre l'implantation du placenta (chez la femme).

Parfaitement contre-intuitif, on vous l'accorde. Et c'est bien là le grand paradoxe de la grossesse placentaire. Sur la base d'un mécanisme ancestral de la grossesse, les placentaires n'ont conservé de l'inflammation que les aspects favorables au fœtus, tout en bloquant son rôle destructeur. L'inflammation se révèle ainsi être le socle sur lequel les euthériens ont greffé leur innovation : l'implantation placentaire.

"L'équipe de Yale a mis le doigt sur une nouveauté évolutive. Si ce sont les mêmes gènes, exprimés de la même manière, qui sont impliqués, cela fait pencher la balance du côté d'une seule acquisition de l'inflammation chez l'ancêtre des marsupiaux et des placentaires", soulève Emmanuel Douzery, spécialiste de phylogénie et d'évolution moléculaire à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier.

Repères

Les mammifères ont en commun d'allaiter leurs petits. Les monotrèmes (ornithorynque…) pondent des œufs. Les marsupiaux naissent immatures sans placenta réellement constitué. Seuls les euthériens, dont l'homme, ont un placenta complexe.

Derrière la grossesse placentaire, une prouesse de l'évolution

Le placenta devrait être rejeté…

Dix à douze jours après la fécondation, le placenta est fonctionnel. Et le restera jusqu'à la naissance. Composé pour moitié avec les gènes du père, il devrait pourtant être rejeté par le système immunitaire maternel…

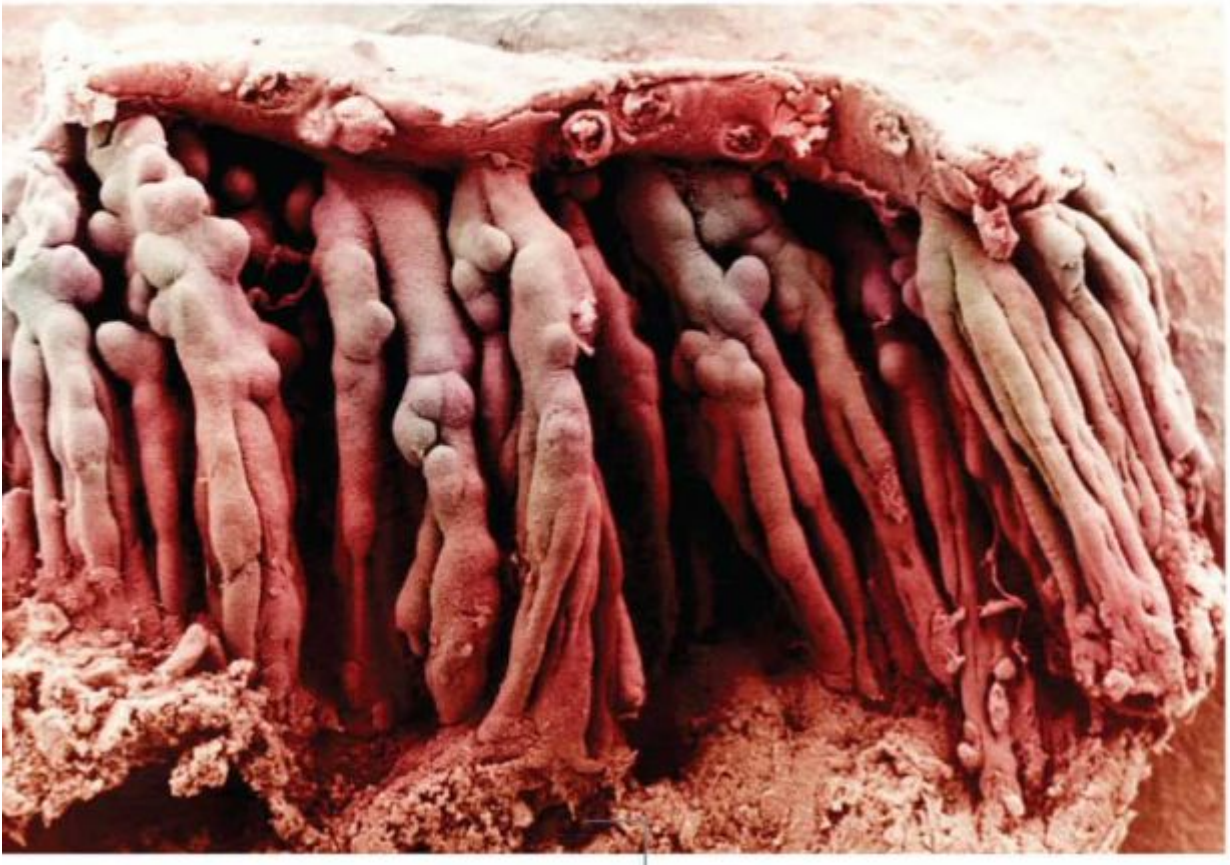




DU CANE MEDICAL IMAGING LTD/SPL/COSMOS
GETTY IMAGES/SCIENCE SOURCE

LA MOLÉCULE IL17A EST INHIBÉE

Mais comment les placentaires réussissent-ils à contrecarrer cette inflammation pour qu'elle n'aboutisse pas au rejet du fœtus ? C'est à nouveau l'étude de l'expression des gènes qui va éclairer les biologistes. La comparaison fine de ce qui se trame dans l'utérus de femelles gestantes et non-gestantes chez quatre placentaires – un daman, un tenrec, un lapin et un tatou – et chez l'opossum révèle une différence notable. Chez les placentaires, une molécule (IL17A) sécrétée par les globules blancs, qui joue un grand rôle dans la réaction inflammatoire, est inhibée lors de l'implantation.



… mais l'inflammation est "domestiquée"
Alors que les villosités placentaires du fœtus pénètrent jusque dans les vaisseaux sanguins maternels, la tolérance immunologique entre mère et fœtus est rendue possible par une modulation des réactions inflammatoires.

En utilisant des tests de culture de lignées cellulaires humaines *in vitro*, un autre élément clé est apparu. Des cellules de l'utérus – les cellules déciduales – subissent des modifications permettant la nidation de l'œuf et, dans le même temps, suppriment l'expression de la molécule inflammatoire IL17A. Elles semblent aussi empêcher le recrutement d'autres cellules immunitaires, les neutrophiles. *"Il est probable que la suppression des neutrophiles soit essentielle pour l'évolution d'une grossesse prolongée"*, estime Oliver Griffith. Chez les euthériens, l'inflammation a donc été domestiquée de sorte que l'interaction inflammatoire fœto-maternelle aboutisse à l'implantation de l'embryon, donc au placenta, plutôt qu'à la naissance.

Quant à savoir comment ce mécanisme ancestral a ensuite évolué… En 2009, une équipe de l'université Paris-Sud et de l'Institut Gustave-Rousssy (Villejuif) a attribué l'apparition des mammifères placentaires à la "capture fondatrice" d'un rétrovirus qui aurait permis de passer des monotrèmes – qui pondent des œufs et allaitent, comme l'ornithorynque – aux euthériens. Ce virus aurait-il pu jouer un rôle dans la régulation de cette période inflammatoire ? La question reste ouverte.

Sachant qu'une mauvaise implantation est responsable de 75 % des cas d'interruption spontanée de grossesse, cette nouvelle façon de penser la gestation chez les mammifères euthériens intéresse évidemment les médecins. *"La nature de cette innovation évolutive sera de la plus haute importance dans nos tentatives de compréhension d'un grand nombre de complications de la grossesse chez l'être humain"*, conclut l'immunologiste spécialiste du placenta Adrian Erlebacher, à l'Université de Californie (San Francisco). Le paradoxe de nos origines n'a pas fini de nous hanter.

À lire : la publication des chercheurs (PNAS).
À consulter : le site du biologiste Oliver Griffith.

EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com



Les bisons d'Europe votent en s'alignant

Avant de changer de lieu, les bisons d'Europe adoptent un comportement subtil. *"Progressivement, ceux qui étaient allongés se mettent à brouter. Certains s'orientent dans une direction, d'autres dans une autre",* explique l'éthologue Amandine Ramos. Au bout d'un moment, ils forment des lignes indiquant les directions souhaitées. Jusqu'à ce que la ligne la plus longue se distingue, et qu'un individu initie le mouvement. Le troupeau entier se met alors démocratiquement en marche.

Démocratie

Elle a été inventée par les animaux

Pour les animaux qui vivent en groupe, la survie passe par la prise de décisions. Et pour y parvenir, ils s'entendent de façon démocratique ! Un système que **Marion Spée** nous détaille via quatre espèces possédant chacune leur mode de scrutin.

"A voté !" C'est la formule classique que prononce le préposé du bureau de vote lorsque le citoyen a accompli son devoir électoral. Qu'il s'agisse d'élire le président de la République ou de choisir un restaurant pour un dîner entre amis, nombre de nos décisions collectives sont prises selon un système démocratique où chaque avis exprimé est pris en compte. La marque d'un haut degré de civilisation ? Il s'agirait plutôt d'une tendance naturelle, voire… animale !

"On a longtemps cru que la démocratie était l'apanage des humains, mais des systèmes similaires existent chez les animaux vivant en groupes sociaux", pose Cédric Sueur, du département d'écologie, physiologie et éthologie de l'Université de Strasbourg. Si Solon et Clisthène – considérés comme les pères de la démocratie – l'ont formalisé dans les sociétés humaines, il est clair pour les spécialistes du comportement animal que des processus semblables existaient bien avant l'apparition d'*Homo sapiens.* Au point de jeter les bases d'un nouveau champ de recherche : l'éthologie politique.

Il faut dire que pour les animaux sociaux, rester groupés est une question de survie. *"Le plus grand des avantages à être nombreux, c'est que cela diminue le risque de prédation",* assure Cédric Sueur. Même si cela comporte aussi quelques inconvénients, comme la transmission des maladies ou la compétition pour les ressources… *"Quand on vit en groupe, l'astuce, c'est de réussir à répondre à ses propres besoins tout en bénéficiant de la présence des autres et des avantages qu'offre la structure du groupe",* résume Amandine Ramos, titulaire d'un doctorat à l'Université de Strasbourg.

Repères

La démocratie est un processus de décision collective où chacun vote pour exprimer son avis. Les premiers jalons de la démocratie politique ont été posés par les Grecs au V^e^ s. avant J.-C.

M. FORSBERG/NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINES/GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK

Oui, mais les besoins et motivations peuvent différer selon les membres : certains voudront consommer un aliment riche en protéines, d'autres préféreront aller vers un point d'eau ou un lieu propice au repos. *"Les 'rebelles' qui tenteraient de ne pas suivre la tendance générale ont tout à y perdre"*, affirme l'éthologue.

Certes, il y a des exceptions : chez les étourneaux ou les gnous, la troupe peut se scinder temporairement en deux pour résoudre un conflit et éviter une scission irrémédiable. Mais en général, le mot d'ordre est de rester soudés. Et le meilleur moyen d'y parvenir, c'est la satisfaction de la majorité des individus. Précisément le principe du système démocratique…

Encore faut-il que les animaux aient de véritables intentions de vote. *"Si, chez certaines espèces, l'intentionnalité du vote est admise, il est plus difficile de la mettre en évidence chez les animaux aux capacités cognitives moins développées"*, commente Amandine Ramos. Chez les poissons, la cohésion du groupe semble ainsi résulter d'un mécanisme d'auto-organisation où les individus s'orientent dans la direction la plus populaire par mimétisme.

> *Un système despotique dans lequel les dominants seraient les seuls à décider de tout ne fonctionnerait pas*
>
> KELLY **STEWART-HARCOURT**
> Anthropologue à l'Université de Davis (Californie)

Mais chez certains animaux, c'est bien un système démocratique que les éthologues ont observé. En l'occurrence, les lycaons, les macaques, les zèbres ou les bisons, avec à chaque fois des protocoles spécifiques d'expression des opinions (voir encadrés), qui visent à prendre une décision faisant consensus dans le groupe.

"Il existe une règle simple qui sous-tend la prise de décision collective chez de nombreux animaux sociaux : l'atteinte d'un quorum – seuil qui varie selon la taille du groupe et le nombre de choix existants, résume la scientifique. *Mais de nombreux autres paramètres complexifient l'équation".* Ainsi, les "campagnes politiques" sont plus animées chez les espèces dont les individus discernent les relations de parenté, les liens affiliatifs ou les dominances existantes au sein du groupe. À l'instar des faiseurs d'opinions, certains individus, de par leur comportement ou leurs caractéristiques, vont avoir plus de poids que les autres lors des débats.

LEADERS D'OPINION

"Ces leaders influencent leurs congénères par leur sexe, leur âge ou leur rang", explique Andrew King, chercheur à l'Université de Swansea. Chez nombre d'espèces, comme les girafes, orques ou éléphants, ce sont les femelles âgées qui jouent ce rôle, du fait de leur expérience et de leur connaissance de l'environnement – la matriarche éléphante est souvent la seule à connaître les points d'eau non épuisés en période de sécheresse. Mais la personnalité des individus joue aussi, les plus audacieux initiant plus de déplacements que les autres.

"Être un bon leader, c'est aussi écouter l'avis des autres", fait remarquer le chercheur du Pays de Galles. Comme l'illustre Kelly Stewart-Harcourt, du département d'anthropologie de l'Université de Davis, en Californie : *"Chez les gorilles, si c'est majoritairement le mâle au dos argenté qui décide de partir, il prend en compte l'avis des femelles en écoutant leur grognement avant le départ. Un système despotique dans lequel les dominants seraient les seuls à décider de tout ne fonctionnerait pas. Les autres membres du groupe finiraient par le quitter."*

En se basant sur un modèle mathématique reliant plusieurs variables (besoin énergétique, masse corporelle, déplacements), Cédric Sueur a montré qu'un groupe de macaques est moins stable avec un système dictatorial, certains individus ne parvenant pas à augmenter suffisamment leur masse corporelle pour assurer leur survie. *"Mais il suffit que les dominants laissent les autres prendre les décisions dans une poignée de cas où leur motivation est forte, pour qu'ils soient satisfaits",* conclut le chercheur.

La démocratie que les humains se targuent d'avoir inventée n'est donc pas le fruit d'une d'une éthique collective ou d'une culture sophistiquée, mais une pratique… toute naturelle.



En chiffres

Chez les animaux sociaux, la taille du groupe peut varier de **quelques individus,** comme chez les primates, à **des milliers,** comme chez les poissons. Mais les chercheurs estiment que seulement **20 à 30 % des espèces de mammifères** vivent effectivement en bande.

Les abeilles votent en dansant

Lorsque l'essaim devient trop grand, la reine et plus de la moitié des ouvrières quittent la colonie pour s'installer ailleurs. Des éclaireuses partent en quête d'un lieu et, au retour, dansent pour indiquer le résultat. *"Leur danse renseigne sur la distance, la direction et la qualité du site",* décrypte l'entomologue Kirk Visscher. Peu à peu, les éclaireuses les plus motivées rallient les autres à leur cause, via une sorte de vote à plusieurs tours. *"Quand l'adhésion est totale, l'envol de l'essaim est immédiat."*

Les lycaons votent en éternuant

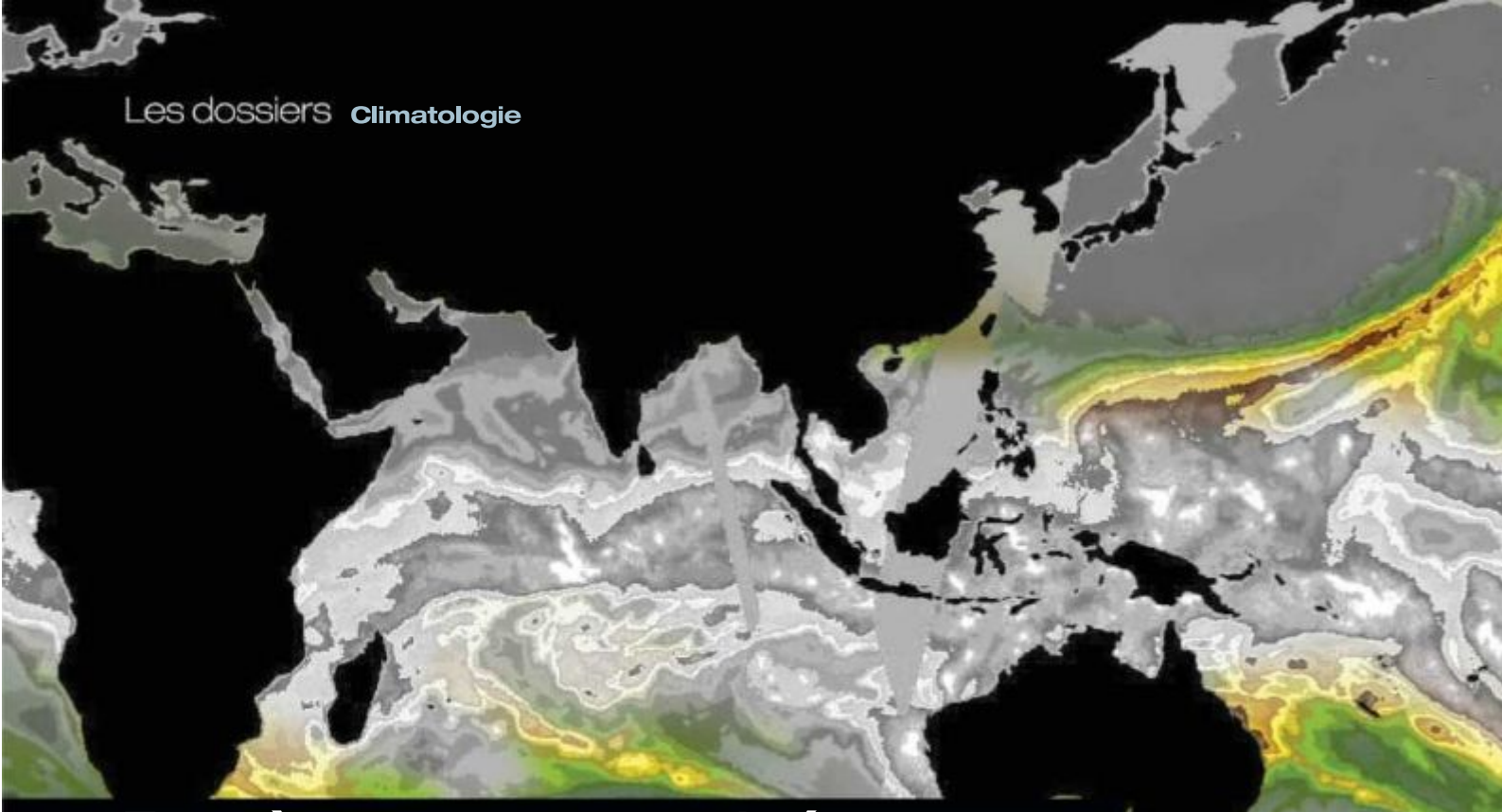
Chez les lycaons, le système social est despotique : seul le couple dominant se reproduit, les autres élèvent les chiots. Mais tous ont leur mot à dire quand il s'agit de partir chasser. *"Quand un individu veut aller chasser, il se lève, s'étire et marche vers un petit groupe au repos, en adoptant une posture qui imite la traque des proies,* décrit l'éthologue américaine Reena Walker. *Les lycaons éternuent pour donner leur appui à celui qui initie le mouvement".* Plus il y a d'éternuements, plus la meute a de chances de partir à la chasse.



Les gorilles des montagnes votent en grognant

Quand elles estiment qu'il est temps d'aller manger, les femelles gorilles émettent des grognements dont la fréquence augmente. *"Elles signalent leur volonté de partir et d'évaluer leurs motivations respectives, afin de coordonner le groupe",* révèle Kelly Stewart-Harcourt, spécialiste de ces gorilles. Le mâle au dos argenté, souvent celui qui prend la décision du départ, comprend ainsi qu'elles sont prêtes. À partir d'un certain seuil de vocalisation, le groupe se met en mouvement de concert.

D.MASON/GETTY - WORLDFOTO/ALAMY STOCK PHOTO/HEMIS - J.SARTORE/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE/GETTY



Rivières atmosphériques
Les monstres ca

Ces masses compactes de vents et de vapeur d'eau sillonnent le ciel sur des milliers de kilomètres. Avec un très fort potentiel de catastrophe… jusque-là méconnu, nous explique **Vincent Nouyrigat**.

Et si l'atmosphère nous cachait quelque chose ? Et s'il nous manquait encore un mécanisme essentiel pour comprendre les affres de la météo planétaire ? Et si… Et si les véritables causes de nos pires tempêtes étaient restées jusqu'ici inaperçues ?

Ces questions peuvent paraître incongrues en 2018. Qu'il s'agisse d'inondations tragiques ou de coups de vent dévastateurs, les principaux responsables semblent bien connus : à savoir, les ouragans tropicaux ou les grandes dépressions de nos latitudes tempérées, dont la spirale infernale est exposée à longueur de bulletins météo et de films hollywoodiens.

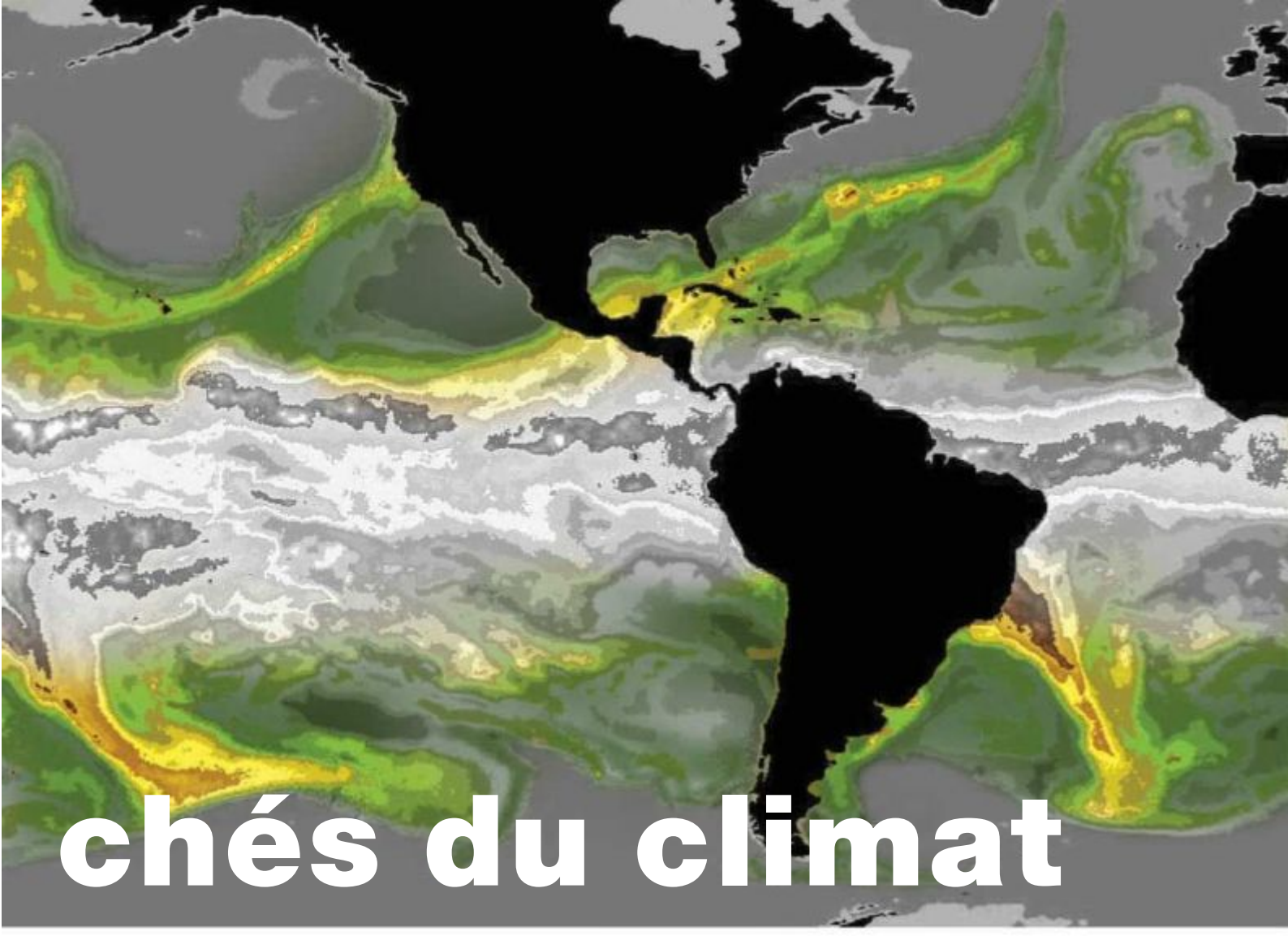
Pourtant, depuis environ trois ans, les études se multiplient pour désigner un tout autre coupable à l'échelle mondiale. Un coupable en forme de gigantesques structures filamenteuses qui déclenchent en secret ici une tempête, là une inondation, plus loin une sécheresse. Leur nom ? Les "rivières atmosphériques" – un terme bien doux pour désigner ces monstres potentiels.

Des rivières dans le ciel, on aura tout entendu ! Au vrai, il faut imaginer des couloirs venteux gorgés de vapeur d'eau ultra-dense qui se déploient sur environ 400 km de largeur pour au moins 2 000 km de

Repères

Le climat planétaire devient extrême. En raison du réchauffement en cours, la fréquence des précipitations torrentielles a déjà augmenté de 18 %, et les vagues de chaleur de 75 %.

NOAA EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY



chés du climat

longueur, le tout suspendu vers 1,5 km d'altitude. C'est peu dire que l'appellation de rivière est faiblarde : *"Nos derniers travaux montrent qu'une rivière atmosphérique présente en moyenne un débit équivalent à 2,6 fois celui de l'Amazone à son embouchure"*, signale Marty Ralph, directeur du Centre de météorologie extrême de l'Ouest (Université de Californie). Soit à peu près 540 000 m^3 d'eau par seconde, ou 300 fois le débit du Rhône, qui s'écoulent silencieusement au-dessus de nos têtes… Jusqu'à ce qu'un obstacle quelconque – un relief, un courant-jet – conduise ce torrent de vapeur à s'élever soudainement, à se refroidir, à se condenser, puis à s'abattre sous forme d'une pluie possiblement diluvienne.

Ces immenses structures atmosphériques semblent immanquables pour tout météorologue un peu attentif. Pourtant, elles leur ont très longtemps échappé. *"À la différence des nuages, il n'y a là presque pas d'eau liquide, c'est seulement de la vapeur invisible ; vous pouvez traverser ces corridors humides en avion sans même vous en rendre compte"*, éclaire Michael Dettinger, hydro-climatologue à l'Agence géologique américaine.

Le terme de "rivière atmosphérique" a été prononcé pour la première fois seulement en 1998, dans un article de deux chercheurs du MIT. *"Cette année-là, nous commencions à disposer d'un suivi satellite continu de la vapeur d'eau au-dessus des océans, et nous avons constaté qu'il y avait en permanence des bandes d'humidité intense : incroyable !* se souvient Michael Dettinger. *Mais il a fallu plusieurs années aux scientifiques pour prendre vraiment la mesure de cette découverte."*

De quoi jeter à la poubelle tous les modèles météo ? Pas vraiment. *"On sait que l'atmosphère tend à produire des structures filamenteuses, c'est ce que prévoit la théorie de la turbulence"*, rétablit Robert Vautard, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement. En l'occurrence, ces rivières cé-

Un phénomène permanent

D'énormes structures effilées, ressemblant à des fleuves, se développent sans cesse à partir de l'humidité des tropiques : elles apparaissent maintenant sur les nouveaux outils satellite (ici en jaune et vert).

lestes émergent lorsqu'une zone de dépression se forme à proximité des tropiques et vient se heurter aux mouvements de convection qui s'y déroulent. À vrai dire, rien de très nouveau ou surprenant pour les météorologues. *"Ce qui nous a sidérés, c'est à quel point ces corridors humides étaient cohérents et longs : certaines de ces 'rivières' peuvent se déployer des Philippines jusqu'à la côte Ouest américaine en franchissant tout le Pacifique !* relance Michael Dettinger. *Désormais, nous travaillons dur pour en comprendre les impacts."*

Il n'est pas le seul : cantonné à moins de 10 articles scientifiques en 2008, le sujet a inspiré près de 300 publications en 2016 ; année où une première conférence internationale lui a été consacrée. L'appellation "rivière atmosphérique" est même entrée, l'été dernier, dans le glossaire de la Société américaine de météorologie.

C'est que les mesures satellite de plus en plus pointues et les campagnes d'observations aériennes réalisées ces dernières années commencent à dessiner un phénomène d'une importance fondamentale et d'une dimension planétaire. Les suivis satellite actuels montrent ainsi qu'en moyenne, onze rivières s'écoulent à tout moment dans l'atmosphère et se chargent d'extraire une partie de l'humidité des tropiques vers les plus hautes latitudes… parfois jusqu'en Arctique ou en Antarctique. *"On estime que ces structures assurent 90 % du transport de vapeur d'eau tropicale vers les hémisphères Nord et Sud"*, avance Alexandre Miguel Ramos, climatologue à l'Université de Lisbonne.

SOUS TOUTES LES LATITUDES

Plus concrètement, ces torrents aériens constituent une part significative des pluies dans de nombreuses régions côtières. *"Le phénomène compte pour 20 à 30 % des pluies en Europe de l'Ouest, surtout en France, au Royaume-Uni et dans la péninsule Ibérique – et il y a des effets jusque dans l'intérieur du continent, en Pologne par exemple"*, continue le chercheur portugais.

Les travaux menés tout récemment révèlent que cette influence se ressent aussi sur les régions côtières d'Asie du Sud-Est, du sud de l'Afrique, de Nouvelle-Zélande, d'Australie, d'Antarctique, de Scandinavie et aussi d'Amérique du Sud et du Nord. Cette part des pluies due aux rivières atmosphériques atteint même 40 voire 50 % en Californie ! Et jusqu'à 80 % pour les chutes neigeuses dans les Andes chiliennes. De quoi éclairer d'un jour nouveau les régimes de précipitations des cinq continents.

Ces fleuves en suspension abreuvent ainsi nos fleuves terrestres : *"Notre étude, parue fin octobre, montre qu'ils sont à l'origine de 22 % des eaux qui ruissellent à la surface de la planète"*, dévoile Homero Paltan-Lopez, spécialiste des cycles de l'eau à l'Université d'Oxford. D'après ses calculs, certains fleuves comme la Tamise, ou l'Escaut dans le nord de la France, reposeraient à 80 % sur ces formations atmosphériques ; la Seine ou le Rhin leur doivent 50 % de leur flux. Tigre, Euphrate, Mississippi, Amour, Po, Paraná en sont aussi très dépendants. *"Nous avons trouvé que ces phénomènes jouaient un rôle hydrologique très fort en Afrique du Sud, en Zambie, au Zimbabwe, mais aussi en Iran, en Turquie, dans certaines parties de la Chine"*, poursuit Homero Paltan-Lopez.



F. FIFE/AFP - D. MCNEW/GETTY IMAGES - W. SKALIJ/LA TIMES/GETTY IMAGES

Les rivières atmosphériques provoquent…

Les pires tempêtes

Elles sont impliquées dans plus de la moitié des plus fortes tempêtes des bassins Atlantique, Pacifique et Indien. Coupables aussi de 14 des 19 tempêtes les plus coûteuses en Europe entre 1997 et 2013, dont celle qui avait traversé la France en décembre 1999 (photo).









Les pires sécheresses

Leur absence pendant de longues périodes implique un sur-risque de sécheresse de 90 % dans le centre de la Californie (photo), en Australie, en Espagne, au Maroc, dans le nord de l'Iran et dans une partie du Brésil. En tout, 350 millions de personnes seraient vulnérables au phénomène.

Les pires inondations

Elles ont provoqué en Californie (photo) plus de 80 % des inondations historiques. Et ont été la cause d'au moins 6 des 10 jours de précipitations maximales annuelles entre 1979 et 2011 dans la péninsule Ibérique, le nord de la France, le sud de l'Angleterre et de la Norvège, impactant aussi la Chine, l'Australie, le Brésil…

Bref : dans une bonne partie du monde, l'arrivée d'une rivière atmosphérique semble pouvoir décider du niveau des cours d'eau, du remplissage des nappes phréatiques, de l'humidité contenue dans les sols ou de l'épaisseur du manteau neigeux. La fréquence de l'apparition du phénomène à un endroit particulier pourrait presque décider, à elle seule, qu'une année sera humide ou aride. Autant de paramètres aux lourdes conséquences agricoles, énergétiques, écosystémiques, géopolitiques…

Or, derrière ce rôle impressionnant de maître des climats, se cache l'extrême brutalité de certaines rivières atmosphériques : de véritables bombes d'humidité tropicale capables des pires catastrophes météorologiques. Homero Paltan-Lopez annonce la couleur : *"L'ensemble des travaux actuels montre qu'elles sont responsables de nombreux événements extrêmes en termes d'inondations, de vent et de sécheresse"* (voir modules ci-dessus). Une étude américaine publiée en février 2017 avance que, sur la période 1997-2014, les rivières atmos-

phériques ont été impliquées dans 40 à 75 % des précipitations torrentielles et tempêtes de vent ayant touché les régions côtières – hors tropiques. *"Dans de nombreuses régions du monde, le record de précipitations est associé au passage d'une rivière atmosphérique"*, avertit Bin Guan, climatologue à la Nasa. Constat qui vaut aussi pour les plus ravageuses tempêtes de neige.

Et, comme souvent, le réchauffement climatique ne devrait rien arranger… Selon les principes les plus élémentaires de la thermodynamique, une hausse de température de l'atmosphère de 1 °C entraîne 7 % d'humidité supplémentaire. *"Les modèles climatiques suggèrent une augmentation de 50 % en moyenne de la fréquence des rivières atmosphériques vers la fin du siècle, avec de grandes disparités régionales"*, soulève Bin Guan. Plusieurs simulations font aussi craindre une intensification de ces rivières, sans parler de possibles changements de trajectoire vers des zones vulnérables, qui pourraient être littéralement saturées ou… privées d'eau.

Ces menaces commencent à être prises au sérieux. *"Les rivières atmosphériques viennent d'être intégrées à la classification des tempêtes extrêmes de l'évaluation climatique nationale américaine, aux côtés des ouragans, orages convectifs, tornades et tempêtes hivernales"*, signale Marty Ralph. Il faut dire que, début 2017, les autorités californiennes avaient été obligées d'ordonner l'évacuation de 200 000 personnes menacées par la rupture du barrage d'Oroville, victime de ces crues quasi tropicales.

COMPRENDRE POUR ANTICIPER

"Nous avons travaillé sur le scénario de plusieurs fortes rivières atmosphériques successives atterrissant sur la Californie pendant trois semaines : d'après nos calculs, le bilan des dégâts liés aux inondations et au vent serait de 300 milliards de dollars ! dévoile Michael Dettinger. *Cela n'a rien d'improbable : un tel événement météorologique s'est déjà produit en 1862, et les données paléoclimatiques indiquent qu'il revient tous les 250 ans environ."*

Toutes les rivières atmosphériques ne sont évidemment pas des monstres : la plupart aboutissent à des précipitations tout à fait modérées et bénéfiques. Mais c'est leur capacité à produire le pire dans l'atmosphère des zones tempérées qui suscite aujourd'hui l'intérêt des chercheurs. Avec l'espoir que ce nouveau concept enrichisse la compréhension des événements extrêmes, et améliore notre préparation face à ces fléaux.

En Californie, le phénomène est d'ores et déjà pris en compte par les pouvoirs publics, et les modèles des agences météo américaines parviennent aujourd'hui à prévoir l'arrivée d'une rivière sur la côte Ouest environ une semaine à l'avance – avec toutefois de fortes incertitudes sur la trajectoire finale. *"On se rend compte maintenant que les rivières atmosphériques ont un impact sociétal très important dans nombre de régions du monde – y compris par leurs effets bénéfiques,* tranche Homero Paltan-Lopez. *Les décideurs politiques, les gestionnaires de barrages, les responsables d'infrastructures, les services de secours, les assureurs doivent prendre conscience du rôle important des rivières atmosphériques."* Et se faire à l'idée que le ciel peut littéralement nous tomber sur la tête…

Comment les appeler ?

Les ouragans et les tempêtes ont tous droit à leur petit nom, ce qui permet de communiquer plus facilement sur le danger qu'ils représentent. Alors pourquoi pas les rivières atmosphériques ? Les météorologues américains ont pris l'habitude de baptiser tous les fleuves aériens aboutissant sur la côte Ouest "Ananas Express", en référence à la source de ces structures située vers Hawaï – grand producteur d'ananas. Ceux débouchant sur l'Amérique centrale sont souvent nommés "Maya Express". Mais pour le reste de la planète, rien… Il faut sans doute attendre que cet objet météorologique gagne en popularité.

À voir : les images de l'agence météo américaine.

EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com

Bon à savoir

Sommaire

112 C'est maintenant

Limitation de vitesse à 80 km/h: qu'est-ce que ça va changer?

Prêts à chasser les météorites? À vous de jouer...

115 En pratique

Les infections peuvent se lire sur le visage

Donner de la viande crue à un animal n'est pas sans risque

La sensibilité aux inégalités rend dépressif

118 Technofolies

Le diable qui transforme tout vélo en triporteur

Une caméra de sécurité qui lévite dans l'air

122 À voir / à lire

***Univers: explorer le monde astronomique*, un époustouflant portfolio de l'astronomie**

124 Questions/Réponses

Où va l'électricité quand on coupe le fil d'alimentation?

Un bruit blanc aide-t-il à se concentrer?

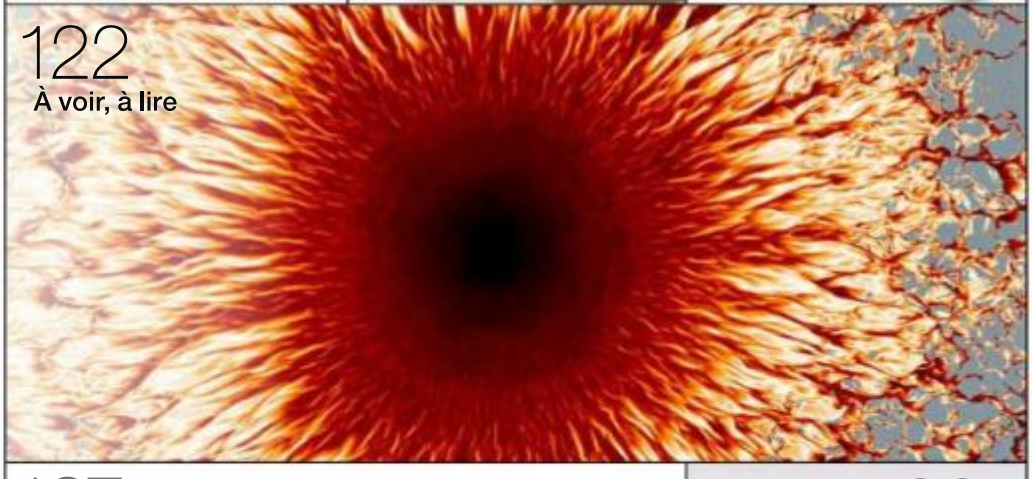
Y a-t-il un lien entre allaitement et allergies?

130 Bulle de science













SHUTTERSTOCK - F.CIROU/PLAINPICTURE/PHOTOALTO - DR - MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG - POWER AND SYRED/SPL/COSMOS - ILLUSTRATION ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE

Limitation de vitesse à 80 km/h : qu'est-ce que ça va changer ?



En juillet 2018, il faudra rouler à 80 km/h sur les routes à double sens sans séparateur central, aujourd'hui limitées à 90 km/h. L'objectif ? Réduire la mortalité routière, repartie à la hausse en 2014. Sécurité, temps de trajet, consommation : tour d'horizon de l'impact d'une telle mesure pour l'automobiliste.

PAR **NATHALIE PICARD**

La sécurité

Elle va s'en trouver améliorée. Si le débat déchaîne encore les passions dans les repas de famille, les experts, eux, n'ont plus de doute. Dès 2013, le Conseil national de la sécurité routière (CNSR) préconisait déjà le passage à 80 km/h. *"Les scientifiques sont unanimes : réduire les vitesses sur une route diminue le nombre de morts. Le nier, c'est comme prétendre que la Terre est plate"*, affirme l'épidémiologiste Bernard Laumon, de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar). Comment peut-on être aussi affirmatif ? Parce que le modèle, élaboré par le Suédois Göran Nilsson, qui permet de calculer la baisse du risque d'avoir un accident mortel en fonction de la diminution de la vitesse, a été confirmé par de nombreuses études basées notamment sur des données réelles d'accidentologie. Selon ce modèle, si vous roulez à 80 km/h au lieu de 90 km/h, votre risque de mourir sur la route baisse de près de 40 %, la vitesse jouant à la fois sur le risque d'accident et sa gravité. D'après les experts du CNSR, si les conducteurs réduisent leur vitesse de 5 km/h en moyenne, cela sauve déjà 350 à 400 vies par an.

Le temps de trajet

Admettons que vous parcouriez 20 km tous les jours pour vous rendre à votre travail (c'est le trajet moyen des Français qui vont travailler, selon l'Insee). En passant de 90 km/h à 80 km/h, vous mettrez à peine 2 minutes de plus. Et encore, cet allongement n'est que théorique, car *"on ne roule jamais à 90 km/h sur tout un trajet. L'abaissement de la limitation à 80 km/h ne jouera que sur certaines portions de routes interurbaines, en dehors des virages, des intersections…"*, précise Michel André, chercheur au laboratoire Transports et environnement de l'Ifsttar.

SHUTTERSTOCK - DR



La consommation

Vous économiserez 3 % de carburant en passant de 90 à 80 km/h, d'après l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). C'est-à-dire, pour une semaine d'allers-retours domicile-travail (200 km et 10 litres de carburant), 300 ml… soit 44 centimes (essence à 1,46 €/l). Pas de quoi renflouer votre porte-monnaie, d'autant que ce calcul est "optimiste" ; ni œuvrer de manière significative contre le réchauffement climatique, la baisse des émissions de CO_2 étant elle aussi minime.

EN CHIFFRES

510 kg

C'est le poids des déchets qu'un Français a générés en 2016, si l'on tient compte des habitations, des commerces, des bureaux et des bâtiments publics. Ce chiffre place notre pays dans la moyenne européenne, largement devant les Danois, qui sont les plus mauvais élèves de l'UE avec 780 kg de déchets par personne.

8,45 €

C'est l'économie annuelle qu'affiche sur votre facture d'électricité lorsque vous remplacez une ampoule traditionnelle de 60 W par une LED de 10 W (pour 3 heures d'éclairage par jour en moyenne).

13 %

C'est le pourcentage d'internautes européens habitués des achats en ligne qui se procurent des médicaments par internet, en marge de toute prescription de la part d'un médecin ou des conseils d'un pharmacien. Un pourcentage qui s'élève jusqu'à 18 % si l'on ne prend en compte que la tranche d'âge 55-74 ans. **V.G.**

À VOUS DE JOUER

PRÊTS À CHASSER LES MÉTÉORITES ?

AVEC VIGIE-CIEL, AIDEZ LES ASTRONOMES DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS À TRAQUER LES CAILLOUX CÉLESTES

Regarder les étoiles filantes ne sert pas seulement à faire des vœux, cela aide aussi la science ! Le programme Vigie-Ciel (lien ci-dessous) lance ainsi un appel à tous les témoins de chutes de météorites. À l'origine, une météorite est un morceau d'astéroïde qui, dans sa course folle, croise le chemin de la Terre et pénètre dans l'atmosphère. Une longue étoile filante déchire alors la voûte céleste. Un objet extraterrestre va heurter le sol… Mais, bien souvent, retrouver une météorite revient à chercher une aiguille dans une botte de foin : bien malin qui la différencie d'un vulgaire caillou. Heureusement, vous êtes là ! Si, par hasard, vous apercevez une belle traînée lumineuse dans le ciel, retenez sa trajectoire, sa luminosité, sa couleur, son bruit… et partagez vos informations sur le site de Vigie-Ciel : elles intéressent au plus haut point les astronomes, qui pourront alors caractériser l'objet et savoir à peu près où il est tombé ! Et tenez-vous prêt, car le tout jeune programme compte organiser des "battues" collectives pour dénicher les météorites. On devrait ainsi passer d'une à dix retrouvées par an. Au moment de faire un vœu, pensez-y !

Hugo Struna, Muséum national d'histoire naturelle



Toutes les infos : http://www.vigie-ciel.org/



LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT

SIDONIE BONNEC & THOMAS HUGUES

Lundi 5 mars de 14h à 15h

Les secrets de l'hypnose

Avec Caroline Tourbe, journaliste à *Science & Vie.*

→ Et retrouvez **LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT**
du LUNDI au VENDREDI, de 14H à 15H.

SCIENCE&VIE

6 GROUPE

Les infections peuvent se lire sur le visage

Étude menée à
l'Université de Stockholm

Nombre de cas étudiés
16, par 122 volontaires

D'un simple regard, on peut décréter qu'une personne est infectée par un microbe, selon une étude menée en Suède, où une équipe internationale a analysé les critères objectifs lisibles sur notre visage lorsqu'une infection est en cours. Car si nous avons tous une idée de ce qu'est une "mauvaise mine", aucune étude n'avait jamais établi les signes extérieurs qui révèlent une maladie. Seize volontaires à la peau claire (hommes et femmes) ont reçu l'injection d'une toxine bactérienne qui mime une infection (inflammation et réaction immunitaire), sans les risques associés. Lors d'une deuxième séance, les mêmes ont reçu un placebo en injection. Chaque fois, les chercheurs ont attendu deux heures avant de prendre des clichés de leur visage, délai qui correspond au pic d'apparition des symptômes et des marqueurs de l'inflammation dans le sang. Les photos ont été présentées à deux groupes de volontaires. Les premiers devaient dire si les sujets étaient, selon eux, malades. Les deuxièmes devaient évaluer leur état de santé en le notant de 1 à 7, puis noter 8 critères précis: couleur et éclat du teint, poches sous les yeux, blancheur des lèvres, coins de la bouche tombants, yeux rouges…

Un mécanisme forgé par la sélection naturelle

Résultats: en moins de 5 secondes, 13 clichés "malades" sur 16 (81 %) étaient reconnus correctement. Alors que les "malades" avaient globalement un air fatigué, des lèvres pâles, un teint pâle et des poches sous les yeux, seuls ces deux derniers critères étaient pris en compte par les observateurs. Une peau brillante ou tachée n'était pas perçue comme un indice de maladie. Selon les chercheurs, la sélection naturelle aurait forgé ce mécanisme très rapide de reconnaissance pour permettre d'éviter la contagion dès les premiers stades de la maladie. Au risque de tenir à distance des personnes qui ne représentent pas une menace, mais sont simplement fatiguées!

Fiorenza Gracci



F.CIROU/PLAINPICTURE/PHOTOALTO

Les fruits préservent la capacité pulmonaire

Des chercheurs ont mesuré, à 10 ans d'intervalle, le volume d'air maximal inspiré et expiré et la consommation de fruits chez 680 volontaires. Tous ont vu leur capacité baisser, mais la diminution était moins forte chez les adeptes des fruits. L'effet était encore plus important chez les anciens fumeurs. "Eur. Resp. J.", déc. 2017



Souvent, une cigarette suffit pour devenir accro

Des chercheurs britanniques ont analysé 8 études sur le comportement vis-à-vis du tabac de 216314 adultes. Parmi ceux qui ont testé un jour la cigarette, seuls 31 % ne sont pas devenus dépendants au tabac. "Nicot. Tob. Res.", nov. 2017



Donner de la viande crue à un animal n'est pas sans risque

Les préparations de viande crue pour chien et chat seraient potentiellement dangereuses pour leur santé et celle de leur maître, révèle une étude néerlandaise sur 35 produits. Huit d'entre eux contenaient la bactérie *Escherichia coli* ; 15, des espèces de listeria ; 7, des salmonelles. Certains renfermaient aussi les parasites *Sarcocystis cruzi* et *Toxoplasma gondii*. Des microbes transmissibles au maître qui manipulerait la pâtée et oublierait de se laver les mains. "Vet. Rec.", jan. 2018



Les filles tendent à éliminer les actions inutiles

Lors d'une étude suisse, 208 enfants ont dû sortir un petit seau d'un récipient transparent, en imitant une procédure réalisée devant eux par un adulte : tordre un fil de fer pour s'en servir de crochet afin de "pêcher" le seau. Lors de sa démonstration, l'adulte avait aussi effectué une action inutile : entourer le récipient d'un autre fil de fer. Il a été observé que 45 % des garçons ont également imité ce geste superflu, contre seulement 12 % des filles. D'autres travaux viseront à s'assurer que ce résultat n'est pas lié à de fausses croyances concernant des différences d'aptitudes entre les deux sexes. "R. Soc. Open Science", déc. 2017

SHUTTERSTOCK - PLAINPICTURE/WESTEND61/REALITYBITES - N.FAGOO/LIGHTMOTIV - GETTY IMAGES/CULTURA EXCLUSIVE



Trop d'ibuprofène peut altérer l'équilibre hormonal masculin

La prise prolongée, par des hommes jeunes, de fortes doses d'ibuprofène, un médicament utilisé notamment pour les douleurs chroniques ou les maux de dents, peut déboucher sur un trouble hormonal dit "hypogonadisme compensé". Lequel touche normalement les hommes âgés, et peut induire à la longue une fonte musculaire et une baisse de la libido. Lors d'une étude franco-danoise, 14 jeunes hommes âgés de 18 à 35 ans ont pris 2 comprimés d'ibuprofène de 600 mg chaque jour, pendant 6 semaines. L'analyse de leur sang et des tests complémentaires sur des fragments de testicules humains montrent que dès 2 semaines, les fortes doses d'ibuprofène diminuent de façon significative la production de testostérone, ainsi que celle de deux autres hormones testiculaires, l'AMH et l'inhibine B. "PNAS", jan. 2018

Les femmes cardiaques sont moins bien suivies

Un an après un infarctus, la mortalité des femmes est supérieure de 89 % à celle des hommes et reste supérieure de 60 % après 5 ans, selon une étude anglo-suédoise. Les femmes sont moins suivies et reçoivent moins de médicaments car les médecins pensent que leurs hormones ou leurs comportements les protègent. "Journ. of the Am. Heart Ass.", déc. 2017

La sensibilité aux inégalités rend dépressif

L'IRM a décelé, chez 59 personnes altruistes mises face à une situation d'inégalité économique, une activation plus marquée de l'amygdale, une zone du cerveau liée au stress et à la dépression. Évalué par questionnaire, leur risque dépressif était bien majoré. "Nat. Hum. Beh.", oct. 2017

L'abus de la position assise favorise la graisse abdominale

Selon une étude anglaise, rester trop longtemps assis augmente la graisse abdominale et expose au diabète et aux maladies cardio-vasculaires. Les chercheurs ont mesuré la quantité de graisse abdominale chez 124 participants, ainsi que le temps passé assis par ces derniers. Chaque heure "assise" était associée à 1,74 litre de graisse abdominale en plus. Un lien encore plus fort chez ceux ne pratiquant pas les 150 minutes d'activité physique modérée recommandées par semaine. "Obesity", jan. 2018



La caméra de sécurité qui lévite dans l'air

Prix : env. 280 €
Rens. : http://1-ring.net/fr/





Cette petite sphère tourne sur elle-même à 360°… sans le moindre contact avec sa base ! L'entreprise américaine 1-Ring, lancée voici trois ans, met ici en œuvre la lévitation par sustentation électromagnétique. La base de la caméra Moon intègre de petits électroaimants, et la sphère des aimants. Une fois la base alimentée, les deux parties se repoussent et la caméra peut ainsi flotter dans l'air et pivoter, sans aucun bruit. Et sur commande : elle peut être contrôlée depuis le site web ou l'application dédiée, qui permet aussi de récupérer les vidéos enregistrées. Dotée d'un capteur CMOS de 5 mégapixels, la caméra filme sur un champ de 130° et intègre un haut-parleur et trois micros, permettant les conversations à distance. Elle détecte les événements (bris de verre, pleurs d'enfant, aboiements…) et peut envoyer des alertes sur votre smartphone. Enfin, sa batterie de 3000 mAh se recharge par induction. Moon peut aussi servir de relais pour piloter les équipements connectés (ZigBee, Bluetooth Smart…) et elle intègre des capteurs d'humidité, de température, de lumière, et même de CO_2. **B.P.**

Un super masque antiparticules fines

Prix : env. 140 €
Rens. : www.r-pur.com

Un masque antipollution capable de filtrer les particules fines de 0,04 µm (micromètre), soit une meilleure filtration que la norme européenne la plus sévère (0,4 µm)… Voici ce que propose la jeune pousse parisienne R-PUR avec son masque éponyme, souple et ultra-léger (50 g). Son secret : un sandwich de filtres incluant charbons actifs et nano-filtration. *"Il aura fallu un peu plus d'un an et demi et plus de 250 prototypes pour trouver la bonne combinaison"*, explique Flavien Hello, l'un des fondateurs. Public visé : les motards, les cyclistes, les piétons… **E.T.-A.**



Ce diable transforme tout vélo en triporteur

Prix : à partir de 1 100 €
Rens. : http://trego-trolley.com



Il ressemble à un diable doté de deux grosses roues. Mais grâce à un système de fixations ingénieux, dont une partie reste en permanence sur la fourche, Trego peut se fixer en quelques secondes sur un vélo adulte, à la place de la roue avant… Et voici un triporteur compact capable d'emporter jusqu'à 40 kg de charge. Grâce à un essieu articulé, ses deux roues de 16 pouces s'inclinent dans les virages, pour maintenir l'agilité. Elles sont aussi dotées de freins à disque, pour une plus grande efficacité malgré la charge embarquée. **B.P.**





La cuisson sous vide à portée de tous

Prix : env. 250 €
Rens. : www.cookmellow.com

Le Mellow Sous Vide de la société canadienne Mellow permet de recourir à la cuisson sous vide, lente et à basse température, bien connue pour optimiser la saveur et les bienfaits des aliments (en préservant notamment les vitamines). Pour cela, il suffit de placer les produits dans un sac prévu à cet effet, que l'on dépose à l'intérieur d'un bac rempli d'eau réfrigérée. La pression scelle le sac, et la basse température conserve les aliments au frais en attendant l'heure de la cuisson (préprogrammée) par réchauffage de l'eau. Une application smartphone vous permet de piloter et de surveiller le processus à distance. **S.F.**



LE PROTOTYPE



Un lave-vaisselle qui se passe de l'arrivée d'eau

Rens. : http ://daan.tech/fr/

Voici le premier lave-vaisselle taillé pour toutes les cuisines, même les plus réduites. Conçu par la start-up française Daan Technologies, Bob n'est pas plus grand qu'un four, fonctionne sans tuyau d'arrivée d'eau (grâce à un réservoir) et il est facile à déplacer (il pèse 10 kg). Seule contrainte : le poser près d'un évier, pour évacuer l'eau. Il contient 4 assiettes, 4 verres, 2 bols et des couverts, et les nettoie en 20 minutes chrono – séchage compris. Les cycles de lavage pourront être programmés via son smartphone, car Bob disposera d'une connexion sans fil. Sa consommation par couvert reste la même que celle d'un lave-vaisselle classique. Ses concepteurs espèrent pouvoir le livrer pour Noël 2018. **G.S.**

DR

Un sac de sport anti-odeurs

Prix : env. 240 €
Rens. : https://paqsule.com

Le sac PaqSule contient un dispositif qui utilise des rayons UV et de l'oxygène actif pour éliminer bactéries et odeurs nauséabondes de tout ce qui s'y trouve après un entraînement. Un bouton permet de choisir la durée du cycle (15, 25 ou 35 minutes). La batterie, rechargeable en 72 heures, dispose aussi d'un port USB pour recharger un portable. **S.F.**



La roue qui absorbe les chocs

Prix : N.C.
Rens. : www.michelin.com

Une roue flexible capable d'absorber nids-de-poule ou autres bordures afin d'éviter pincements ou usure prématurée des pneumatiques (en particulier les "taille basse") ou des jantes… Voici ce qu'ont imaginé Michelin et son partenaire américain Maxion Wheels, spécialiste des roues. Une première. Cette innovation technologique, baptisée Acorus, associe deux brides en caoutchouc situées de part et d'autre d'une jante spécifique en aluminium. Lorsque le véhicule encaisse un choc, les flancs en caoutchouc se déforment pour protéger le pneu et le corps de la jante. Principal défi à surmonter : préserver le comportement routier du véhicule. Depuis 2012 et les premiers travaux de recherche, de nombreux tests ont été réalisés pour améliorer le dispositif, compatible *"avec n'importe quel pneu"*, précise le manufacturier français. La roue ne sera dans un premier temps disponible qu'en première monte : l'acheteur pourra l'acquérir en option, au moment de choisir sa voiture neuve. **E.T.-A.**



Ce robot combat en réel ou en virtuel

Prix : env. 330 €
Rens. : mekamon.com

Ce quadripode, baptisé Mekamon, permet de se mesurer à d'autres robots situés dans la même pièce, ou bien virtuels, en réalité augmentée, depuis son smartphone, en Bluetooth LE. Les nombreux déplacements, armes et boucliers, tous personnalisables, promettent de longues heures de jeu. Le Mekamon affiche une autonomie sur batterie d'une heure et demie. **G.S.**





La plancha avec sa hotte aspirante intégrée

Prix : env. 130 €
Rens. : www.e-zicom.com

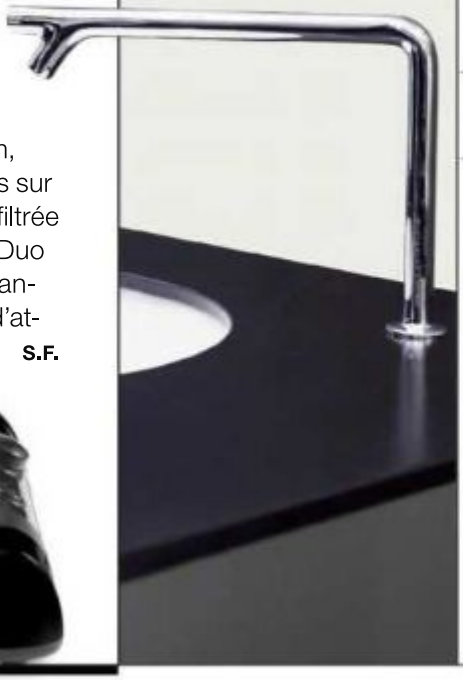
La plancha Duo, de la société française e.Zicom, aspire la fumée grâce à des ventilateurs intégrés sur deux bords internes de l'appareil. Elle est alors filtrée et les odeurs absorbées grâce à un bac à eau. Duo est livrée avec deux plaques de cuisson interchangeables (dont une grill-barbecue). Plus besoin d'attendre l'été pour manger des merguez ! **S.F.**



Le lavabo avec chasse d'eau

Prix : env. 920 €
Rens. : www.vitra-bad.fr

Fini les cheveux et les traces de dentifrice dans le lavabo. La marque turque Vitra a conçu la vasque Metropole AutoClean, avec chasse d'eau intégrée ! Activée par une commande manuelle ou un capteur de mouvement (en option), celle-ci propulse environ 1 litre d'eau mélangée au produit nettoyant de son choix (un réservoir est prévu) pour rincer la surface de la céramique après chaque usage. Malgré l'absence de rebord, l'opération s'effectue sans éclaboussures, promet le fabricant. Pratique, mais à utiliser avec modération si l'on ne veut pas faire exploser sa facture d'eau… **L.B.**





Une imprimante 3D pour modeler l'argile

Prix : env. 720 €
Rens. : www.clayxyz.com

Cette imprimante 3D n'utilise pas de filament en plastique, mais de l'argile stockée dans un réservoir doté d'un extrudeur. Plusieurs styles d'impression sont disponibles et les créations peuvent être retouchées, cuites pour en faire des céramiques ou recyclées. À noter : il est possible d'utiliser l'argile de son choix. **B.P.**

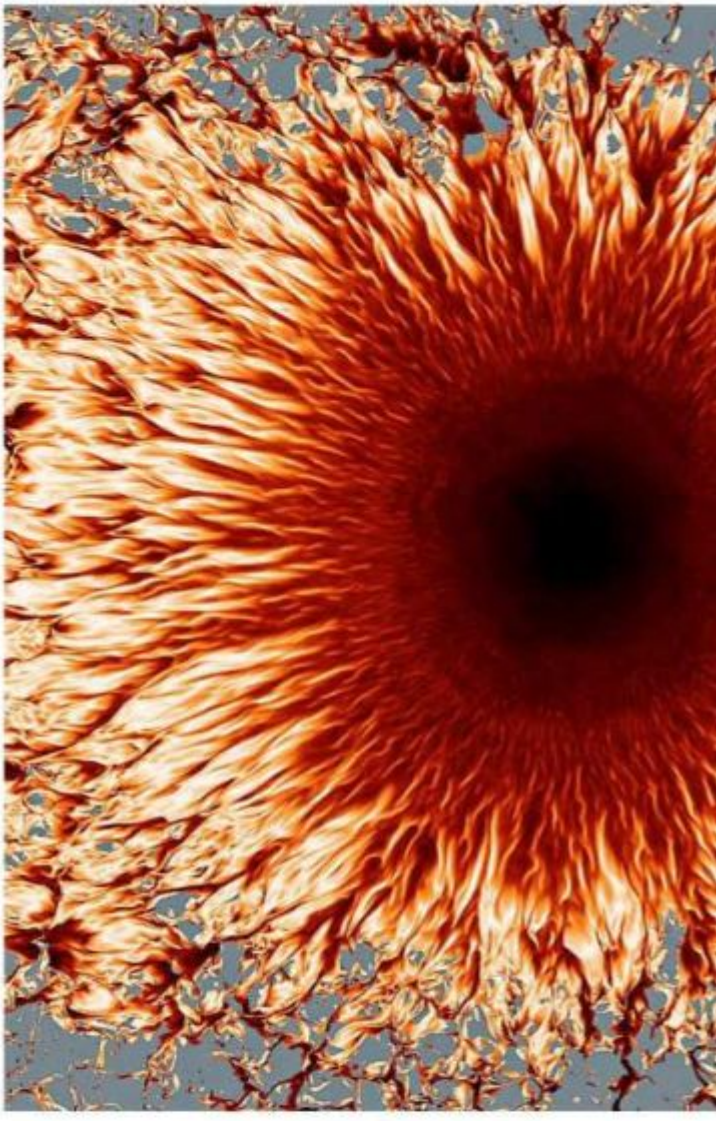
DR

LIVRE

Un époustouflant portfolio de l'astronomie

Scientifiques, artistiques, historiques… toutes les images du ciel présentées dans cet ouvrage dialoguent entre elles. Pour une somptueuse démonstration de la force de la relation de l'homme avec le cosmos.

PROPOS RECUEILLIS PAR **MATHILDE FONTEZ**



S&V : Vous avez dirigé historiens et astronomes qui ont sélectionné les 300 images de ce livre. Quels étaient vos critères ?
P. M. : Simplement, que la photo soit intéressante d'un point de vue esthétique, historique ou artistique. Et, bien sûr, il fallait une divesité de sources iconographiques. D'où cette combinaison de photos, dessins, peintures, images scientifiques…

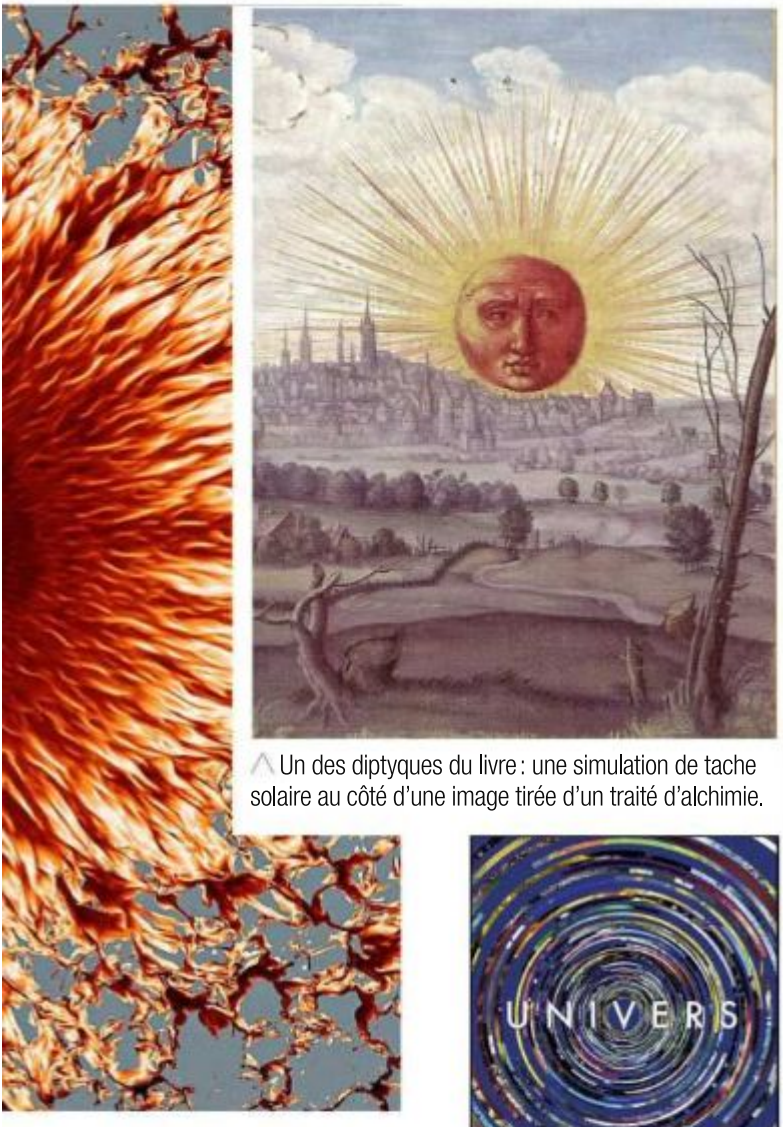
S&V : Vous avez, et c'est ce qui fait la force du livre, formé des diptyques, pour faire dialoguer les images…
P. M. : C'est un choix délibéré de ne pas avoir rendu ces comparaisons explicites. Nous les laissons surgir dans l'esprit du lecteur, pour l'inciter à penser les relations de l'homme avec l'Univers. Certains rapprochements sont évidents, comme la représentation chrétienne médiévale des sphères du cosmos et son interprétation musulmane. Parfois, il s'agit d'une correspondance de style : un tableau de Kandinsky et une représentation des planètes découvertes par le télescope *Kepler*. C'est extraordinaire que ces deux images, produites pour des raisons si différentes, soient si semblables ! Et parfois, le lien est plus… cryptique.



PAUL **MURDIN**
Astronome à l'Institut d'astronomie de l'université de Cambridge

Le plus important n'est pas dans l'image, c'est l'imaginaire qu'elle déclenche. Cela capture, pour moi, toute la force du livre

S&V : Les images scientifiques sont très récentes. Se sont-elles imposées d'elles-mêmes ?
P. M. : Cela s'est fait naturellement. Il faut dire que les astronomes travaillent de plus en plus leurs images à des fins esthétiques. L'équipe qui étudie la géologie martienne avec la caméra Hirise, par exemple, a produit des



Un des diptyques du livre : une simulation de tache solaire au côté d'une image tirée d'un traité d'alchimie.

images abstraites dignes de celles d'un artiste…

S&V : Et si vous deviez n'en choisir qu'une…

P.M. : Ce serait l'une des plus connues, l'empreinte de Buzz Aldrin dans le sable lunaire. Au départ, cette photo devait servir aux ingénieurs à évaluer la compressibilité du sol lunaire. Mais elle a pris une énorme dimension historique. En se focalisant ainsi sur le particulier, elle secoue l'esprit, qui se met à vagabonder hors du champ, à voir les petites montagnes autour et, derrière, le ciel et l'Univers. Le plus important n'est pas dans l'image, c'est l'imaginaire qu'elle déclenche. Cela capture, pour moi, toute la force du livre.

LIVRE

- **Univers : explorer le monde astronomique**
- Introduction de Paul Murdin
- Éd. Phaidon, 352 pp., 49,95 €

LIVRE

- **Tous entrelacés ! Des gènes aux super-organismes : les réseaux de l'évolution**
- D'Éric Bapteste
- Belin, 360 pp., 20 €



Éric Bapteste, docteur en biologie évolutive et en philosophie, propose un nouveau regard sur l'évolution. Exit le principe de la sélection naturelle, où les perdants sont éliminés : l'évolution devient une œuvre collective. L'auteur démontre à quel point l'ensemble du vivant est le résultat d'interactions complexes entre espèces. Et nous invite à réfléchir sur ces liens qui nous affectent encore aujourd'hui. **L.B.**

LIVRE

- **Fabuleuses erreurs - De Darwin à Einstein**
- De Mario Livio
- CNRS Editions, 339 pp., 23 €



Excellente idée que de partir des errements des grands hommes pour raconter la science ! Elle permet au physicien Mario Livio de faire vivre, de l'intérieur, les épopées scientifiques qui ont fondé la génétique, la thermodynamique ou l'astronomie d'aujourd'hui. Et au passage, de corriger le fameux cliché : non, les percées scientifiques ne sont pas toutes un "Eureka !"… **M.F.**

INSTALLATION

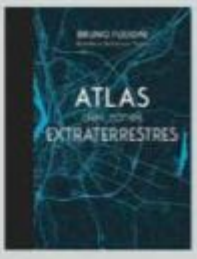
- **Cabinet de réalité virtuelle**
- Grande Galerie de l'évolution (Paris)
- Dès 12 ans, 5 €, réservation en ligne : mnhn.fr/vr



La phylogénétique vous ennuie ? Installez-vous dans l'une des cinq cabines, enfilez le casque et plongez dans la "sphère du vivant", avec ses centaines de bulles renfermant chacune une espèce. Touchez le tigre, et c'est l'animal, grandeur nature, qui se met à bouger devant vous. Choisissez le jeu, et vous verrez que le saumon rouge est plus proche de l'homme que du requin-marteau… Dommage que la séance ne dure que 15 minutes ! **V.G.**

LIVRE

- **Atlas des zones extra-terrestres**
- De Bruno Fuligni
- Éd. Arthaud, 128 pp., 25 €



L'ovniport d'Arès, le cigare volant de Tananarive… ce bel atlas propose un étonnant voyage à travers tous les lieux du globe empreints de phénomènes inexpliqués et autres ovnis. Bruno Fuligni s'adresse ici à tous les publics : *"L'ufologue amateur y trouvera un guide touristique, le conspirationniste un manuel pratique de l'invasion, le sceptique une nouvelle frontière de l'utopie."* Et l'auteur de science-fiction, une incroyable source d'inspiration. **V.G.**

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY - MAX-PLANCK INSTITUT FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG - DR

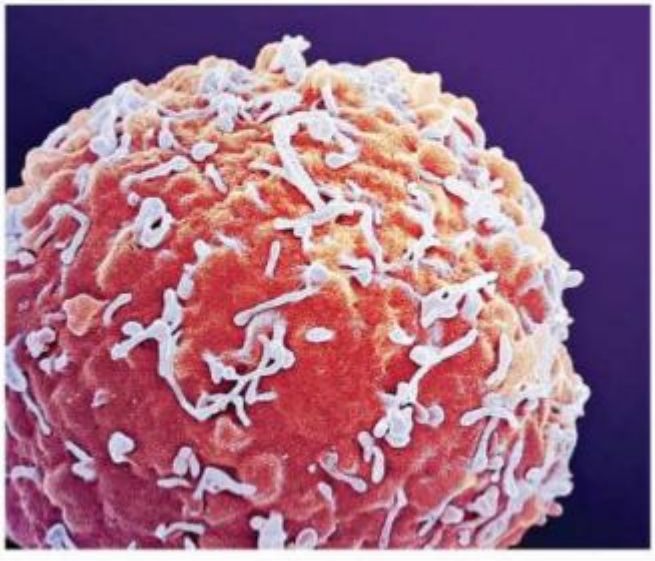
Quelle est l'énergie maximale d'un photon ?

Question de Manon Aubin, Paris (75019)

Sur le papier, la seule limite connue est celle donnée par le mur de Planck : 10^{28} électronvolts (eV), autrement dit 10 milliards de milliards de milliards d'électronvolts. Au-delà, la notion même de particule de lumière n'a plus de sens – pour comparaison, l'énergie d'une particule de lumière visible classique n'est que de quelques électronvolts. Cela dit, aucun recoin du cosmos ne permet d'observer de tels monstres. Au LHC du CERN, le plus puissant accélérateur de particules au monde, près de Genève, les photons les plus énergétiques produits lors des collisions entre protons atteignent 10^{12} eV. Et dans l'espace, les photons les plus extrêmes résultent de l'interaction de la lumière de faible énergie avec les particules de rayons cosmiques, fruits des processus ultra-violents ayant cours près des trous noirs supermassifs ou lors de l'effondrement d'étoiles massives. Car lorsqu'un électron ou un positon de très haute énergie interagit avec un photon, il peut lui céder son énergie. Ainsi, l'énergie maximale possible pour un rayon cosmique tournerait autour de 10^{20} eV. *"On pourrait donc s'attendre à observer des photons d'une énergie équivalente"*, déduit Mathieu de Naurois, directeur de l'expérience HESS, dédiée à l'observation des photons les plus énergétiques, en Namibie. Or, le record revient à des photons de seulement 10^{14} eV, à raison de un tous les 6 mois… De fait, les phénomènes à l'origine de ces super-photons sont d'autant plus rares que ces derniers sont énergétiques. Et plus un photon possède d'énergie, plus la probabilité qu'il interagisse avec le bain de lumière cosmique est grande, et moins il se propage sur de longues distances. Verra-t-on alors jamais des photons plus énergétiques ? *"Impossible de répondre,* admet l'astrophysicien. *Il faudrait estimer la fréquence de ces phénomènes, ce dont nous sommes incapables aujourd'hui."* **M.G.**



L'expérience HESS, en Namibie, a mesuré une valeur record de 10^{14} eV. Mais en théorie, l'énergie maximale d'un photon serait de 10^{28} eV.



F.ACERO/H.GAST - S.GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS - A.DAGAN

Est-il justifié d'opérer les

Question de Jackie Christophe, Oroër (60)

"Dans certains cas", répond le médecin Patrick Lecerf, oto-rhino-laryngologiste à Tours. Les amygdales sont pourtant la première barrière contre les microbes pénétrant par la bouche : elles constituent un obstacle physique et abritent des cellules productrices d'anticorps. *"Mais on peut en retirer certaines sans risque pour l'immunité, car d'autres prennent le relais"*, ajoute le spécialiste.

Le cas se présente surtout pendant l'enfance ; le système immunitaire,



amygdales ?

alors très actif, rencontre les virus et les bactéries pour la première fois. L'organisme crée ses propres défenses, et les amygdales peuvent gonfler jusqu'à causer une obstruction respiratoire chronique et, par là, provoquer des apnées du sommeil. C'est, en l'occurrence, la principale indication de l'amygdalectomie chez l'enfant aujourd'hui.

Mais, depuis une dizaine d'années, cette pratique est plus encadrée. La Haute Autorité de santé a ainsi statué en 2012 qu'elle n'est pas appropriée en cas d'angines récidivantes sans caractère de gravité. D'ailleurs, depuis, les opérations ont baissé de 10 %. Car cette ablation présente évidemment des risques : 1 % des interventions provoquent une hémorragie le premier jour, puis 1 à 3 % entre le 8e et le 15e jour, avec un risque de décès estimé à 1 pour 50 000. Dans la majorité des cas, il suffit donc d'attendre que les angines cessent… avec l'âge. **N.P.**

Un bruit blanc aide-t-il à se concentrer ?

Question d'Yves Bouttier, Marseille (13)

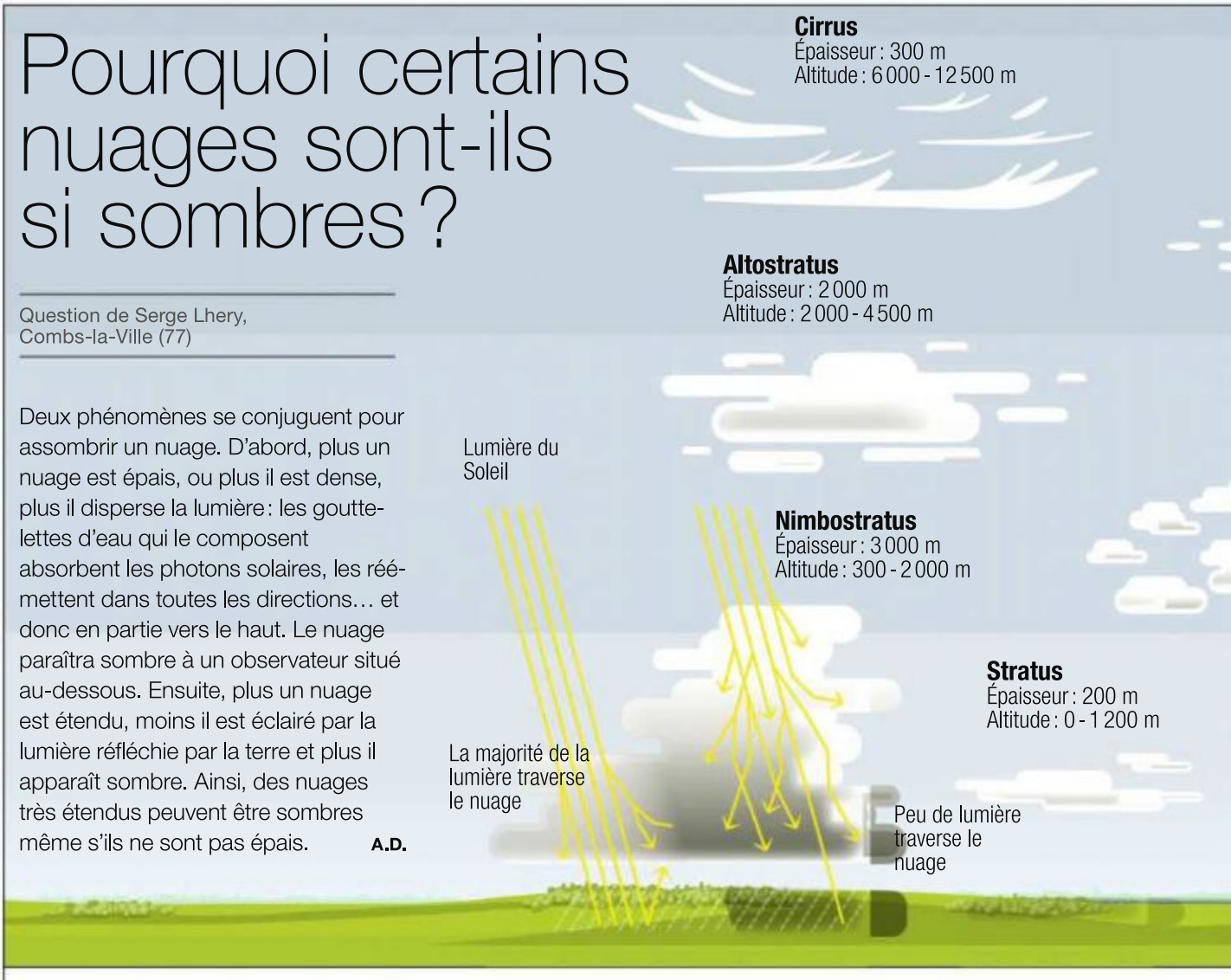
Aucune étude n'a jamais prouvé les bénéfices de la superposition de toutes les fréquences sonores que proposent certains CD. *"Dans un environnement silencieux, le bruit blanc n'a aucun intérêt !"*, tranche même Étienne Parizet, directeur du laboratoire Vibrations et acoustique de l'Insa de Lyon. Dans un lieu bruyant, il pourrait masquer une partie des sons et améliorer les performances intellectuelles. Mais il ne peut être aussi efficace qu'un casque actif, qui produit des sons dont le spectre est similaire à celui des bruits ambiants. Sauf qu'*"à long terme, nous craignons que ces derniers provoquent une fatigue cognitive"*, pointe Patrick Chevret, de l'INRS (prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles). **N.P.**



Pourquoi certains nuages sont-ils si sombres ?

Question de Serge Lhery, Combs-la-Ville (77)

Deux phénomènes se conjuguent pour assombrir un nuage. D'abord, plus un nuage est épais, ou plus il est dense, plus il disperse la lumière : les gouttelettes d'eau qui le composent absorbent les photons solaires, les réémettent dans toutes les directions… et donc en partie vers le haut. Le nuage paraîtra sombre à un observateur situé au-dessous. Ensuite, plus un nuage est étendu, moins il est éclairé par la lumière réfléchie par la terre et plus il apparaît sombre. Ainsi, des nuages très étendus peuvent être sombres même s'ils ne sont pas épais. **A.D.**



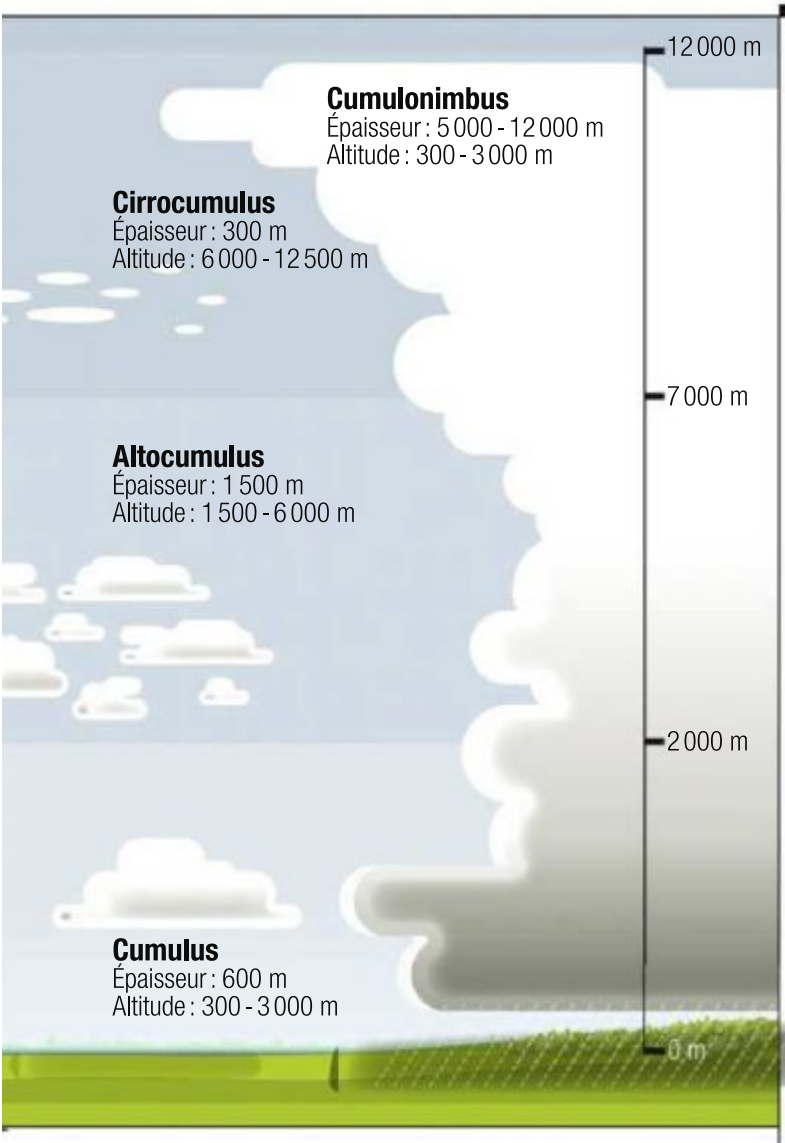
Y a-t-il un lien entre allaitement et allergies ?

Question d'Hervé Van de Sype, Saint-Jean-le-Blanc (45)

La question est très étudiée… sans être tranchée, en grande partie à cause de l'hétérogénéité des enquêtes. À la suite d'une récente méta-analyse qui a permis d'analyser 117 études parues entre 1983 et 2012 sur le lien entre allaitement et asthme, le chercheur britannique Cristian Dogaru et ses collègues ont ainsi listé les critères qui permettraient de répondre : le recrutement de mères dès la grossesse ; l'étude de l'histoire allergique de la famille ; la comparaison de jumeaux pour distinguer l'implication des facteurs génétiques et environnementaux… Avant de conclure qu'*"à ce jour, aucune étude remplissant ces critères n'a été publiée"*.

De fait, certains travaux indiquent bien que le lait maternel favorise l'allergie à la cacahouète, l'asthme ou l'eczéma : les mères mettraient leur bébé en contact avec des substances allergisantes via leur lait. Une étude australienne a par exemple conclu en 2012 à un risque d'allergie à la cacahouète augmenté de 1,53 fois chez les bébés allaités pendant six mois. Mais d'autres travaux ne montrent, eux, aucune influence de l'allaitement sur le risque d'allergie. Et de nombreuses études concluent, au contraire, à une diminution du risque ! Des pédiatres américains ont par exemple observé une réduction d'un facteur 7 de la fréquence de l'eczéma chez des bébés allaités, comparés à d'autres nourris au lait de vache – cet effet bénéfique concernant unique-

A. DAGAN - POWER AND SYRED/SPL/COSMOS



ment les enfants ayant un père, une mère, un frère ou une sœur allergique.

Ainsi, le lait maternel induirait une tolérance vis-à-vis des allergènes en diminuant l'exposition des bébés… ou en la favorisant. *"Ces résultats contradictoires pourraient simplement être liés au fait que l'allaitement prévient les allergies chez certaines mères alors que chez d'autres, cet effet protecteur n'existe pas, en raison de facteurs génétiques non encore identifiés"*, analyse Étienne Bidat, allergologue et pédiatre à l'hôpital Ambroise-Paré, à Boulogne-Billancourt.

En pratique, les autorités sanitaires recommandent l'allaitement (qui, du reste, est connu pour diminuer les risques d'infection, d'obésité et de diabète) jusqu'à 6 mois, et conseille aux mères d'éviter les aliments présumés responsables de l'allergie de leur enfant s'il présente des symptômes comme de l'eczéma ou des coliques. **K.B.**

Où va l'électricité quand on coupe le fil d'alimentation ?

Question de Jean-Paul Waltrégny, internet

Les électrons s'arrêtent, le courant s'interrompt. Car il faut un circuit fermé et un matériau conducteur pour que les électrons quittent leur orbite autour du noyau des atomes et se mettent à circuler, créant de l'électricité. Si un fil coupé reste en l'air (un isolant), ils ne peuvent poursuivre leur chemin. Mais dès que le fil touche un objet conducteur, les électrons retrouvent le chemin de la source d'alimentation – dans la pratique, un disjoncteur détecte ce courant anormal et le coupe. Cependant, si la tension appliquée au matériau par le générateur de courant (c'est-à-dire la force avec laquelle les électrons sont mis en mouvement) est très forte, les électrons peuvent se frayer un chemin, même dans un milieu isolant. C'est ce qui risquerait de se passer s'il n'y avait pas de disjoncteur, en cas de coupure d'une ligne à haute tension. *"Lorsque la ligne tombe au sol, les électrons cherchent un chemin pour revenir au poste de transformation précédent. Ils rejoignent la terre, un bon conducteur électrique. Cela génère des courants de défaut qui se propagent sur le sol, en cercles concentriques autour du fil"*, explique Franck Lamblardy, expert risque électrique chez Enedis. Mais si la ligne reste suspendue, l'air peut alors devenir conducteur et il se produit un arc électrique. **N.P.**



< Quand le fil est coupé, les électrons arrêtent de circuler.



Les protéines présentes dans le lait empêchent la vapeur de s'échapper.

GETTY IMAGES/SCIENCE SOURCE

Pourquoi le lait qui bout déborde-t-il ?

Question d'Emmanuel Cacot, Couzeix (87)

Il est vrai qu'il suffit de quelques minutes d'inattention et voilà le lait qui déborde de la casserole, tandis que l'eau bouillante, elle, n'ose s'aventurer hors de son contenant. C'est que le lait, cette émulsion constituée de gouttelettes de matière grasse dispersées dans l'eau, contient également des protéines. *"Certaines de ces protéines sont dissoutes dans l'eau sous forme de pelotes, qui se déroulent lorsqu'on chauffe le lait,* détaille Hervé This, directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParis-Tech-Inra. *Dénaturées, elles montent à la surface, coagulent et forment la peau du lait : une couche de protéines imperméable à la vapeur."*

C'est à cause de cette peau de protéines que se produit l'éruption : lorsque la température atteint 100 °C, l'eau du lait se transforme en vapeur en bas de la casserole. Les bulles de gaz montent et tentent de s'échapper à l'air libre, mais la peau du lait les en empêche. Poussée par cette vapeur, la peau monte… et le lait déborde. **N.P.**

Y a-t-il des poissons dans les rivières souterraines ?

Question d'Elsa Brosseau, Saint-Jean-de-Braye (45)

Oui ! On peut même dire que l'on trouve des poissons dans toutes les cavités souterraines contenant de l'eau, dès lors qu'il y a assez d'espace et de nourriture pour y vivre. *"La nature a horreur du vide : à partir du moment où un habitat est colonisable, il est colonisé"*, résume Florian Malard, spécialiste en hydrobiologie et écologie souterraine au CNRS à Lyon.

Cette faune a pour ancêtres des poissons de surface qui ont été introduits accidentellement dans les espaces souterrains et qui ont évolué pour s'y adapter. *"On passe de populations qui affichent une perte de pigmentation et des yeux ayant régressé, à des populations totalement dépigmentées et carrément aveugles"*, détaille le chercheur. Des poissons dont le métabolisme est ralenti à cause d'une nourriture trop souvent insuffisante… et qui voient d'ailleurs leur durée de vie augmenter par rapport à leurs ancêtres de surface. **O.D.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE&VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrons répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à *Science & Vie* (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à : sev.qr@mondadori.fr ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory
92543 MONTROUGE CEDEX

Retrouvez le nouveau SCIENCE&VIE tous les mois chez vous

12 numéros par an



6 hors-séries par an



-40%

soit 4,40€ par mois au lieu de 7,45€*

Sans engagement !

VERSION NUMÉRIQUE OFFERTE



Votre magazine vous suit partout !

LES AVANTAGES DU PRÉLÈVEMENT

✓ Gagnez en sérénité ✓ Réglez en douceur ✓ Stoppez quand vous voulez

BULLETIN D'ABONNEMENT

à retourner sous enveloppe affranchie à : Service abonnements Science&Vie - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9

Découvrez toutes nos offres sur KiosqueMag.com

SV 1206

1 Je choisis mon offre d'abonnement :

☐ **L'offre Liberté :** **-40%**
1 n° par mois + 6 hors-séries par an pour 4,40€ par mois au lieu de ~~7,45€~~*. [982108]

> Je m'arrête quand je veux.
> Ce tarif préférentiel est garanti pendant 1 an minimum.

Je remplis le mandat à l'aide de mon RIB pour compléter l'IBAN et le BIC et je n'oublie pas de **joindre mon RIB.**

IBAN :

BIC : 8 ou 11 caractères selon votre banque

Vous autorisez Mondadori Magazines France à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Mondadori Magazines France. Créancier : Mondadori Magazines France 8, rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex 09 France - Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

☐ **L'offre Passion : 1 an - 12 n° + 6 hors-séries** **-32%**
pour 59,90€ au lieu de ~~89,40€~~*. [982116]

☐ **L'offre Classique : 1 an - 12 n°** **-24%**
pour 40,90€ au lieu de ~~54€~~*. [982124]

Je choisis mon mode de paiement :

☐ **Par chèque bancaire** à l'ordre de Science&Vie

☐ **Par Carte bancaire :**

Expire fin : / Cryptogramme :

2 J'indique mes coordonnées :

Nom :

Prénom :

Adresse :

CP : Ville :

Tél.: Mobile :

Email :

Indispensable pour gérer mon abonnement et accéder à la version numérique.

☐ J'accepte d'être informé(e) par email des offres commerciales du groupe Mondadori France et de celles de ses partenaires.

Dater et signer obligatoirement :

À :

Date : / /

Signature :

*Prix de vente en kiosque. Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 30/04/2018. Vous pouvez acquérir séparément Science & Vie au prix de 4,50 € et ses Hors-Séries au prix de 5,90 € frais de port non inclus. Votre abonnement vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CGV sur le site www.kiosquemag.com. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre : ☐

D'après une question de **Bénédicte Sauret, Montbazon (37)**



PAR ANNE DEBROISE - ILLUSTRATION ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE

LA GALAXIE

SCIENCE&VIE

À la une ce mois-ci !

science







SCIENCE & VIE
Le mensuel le plus lu en France !
+ 4 hors-séries
+ 2 numéros spéciaux par an



LE *QUESTIONS RÉPONSES* DE *SCIENCE & VIE*
Les questions de la vie, les réponses de la science.
4 numéros par an



LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE
La référence en histoire des civilisations.
8 numéros par an

histoire



GUERRES & HISTOIRE
Le leader de l'histoire militaire.
Bimestriel + 2 hors-séries par an



Actuellement en vente chez votre marchand de journaux

ABONNEZ-VOUS

Disponible sur KiosqueMag.com

NOUVELLE PEUGEOT 308

AUGMENTED TECHNOLOGY*



REPRISE ARGUS®

+ 3 600 € (1)

ORIGINE FRANCE GARANTIE

NOUVELLE BOÎTE AUTOMATIQUE 8 RAPPORTS**

NAVIGATION 3D CONNECTÉE ET PEUGEOT CONNECT**

AIDES À LA CONDUITE DERNIÈRE GÉNÉRATION**

MOTION & EMOTION

PEUGEOT

BETC Automobiles PEUGEOT 552 144 953 RCS Paris

*TECHNOLOGIE AUGMENTÉE. **DE SÉRIE OU OPTION SELON FINITION.

(1) Soit 3 600 €, ajoutés à la valeur de reprise de votre véhicule, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du véhicule neuf acheté. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus® du jour de la reprise, applicable à la version du véhicule repris, ou le cas échéant à la moyenne du cours des versions les plus proches de celui-ci, ledit cours ou ladite moyenne étant ajusté en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en état standard et déduction faite d'un abattement de 15 % pour frais et charges professionnels. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable pour toute commande d'une Nouvelle 308, neuve et en stock, hors Acces et Active commandée avant le 31/03/2018 et livrée le mois de la commande dans le réseau PEUGEOT participant. Offre non valable pour les véhicules au prix Peugeot Webstore.

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL Consommation mixte (en l/100 km) : de 3,1 à 6. Émissions de CO_2 (en g/km) : de 85 à 134.